

Aus dem Strahleninstitut des Städt. Krankenhauses Spandau-Nord

Dirigierender Arzt: Professor Dr. med. Werner Schlungbaum

ÜBER DIE KLINISCHE ANWENDUNG EINES VERFAHRENS ZUR
MESSUNG DER ARTERIELLEN DURCHBLUTUNG DES CAPUT
FEMORIS NACH SCHENKELHALSBRÜCHEN

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
der medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Andreas Rieche

aus

Berlin

1972

Aus dem Strahleninstitut des Städt. Krankenhauses Spandau-Nord

Dirigierender Arzt: Professor Dr. med. Werner Schlungbaum

ÜBER DIE KLINISCHE ANWENDUNG EINES VERFAHRENS ZUR
MESSUNG DER ARTERIELLEN DURCHBLUTUNG DES CAPUT
FEMORIS NACH SCHENKELHALSBRÜCHEN

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
der medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Andreas Rieche
aus
Berlin

Referent: Professor Dr. med. Werner Schlungbaum

Korreferent: Professor Dr. med. Richard Maatz

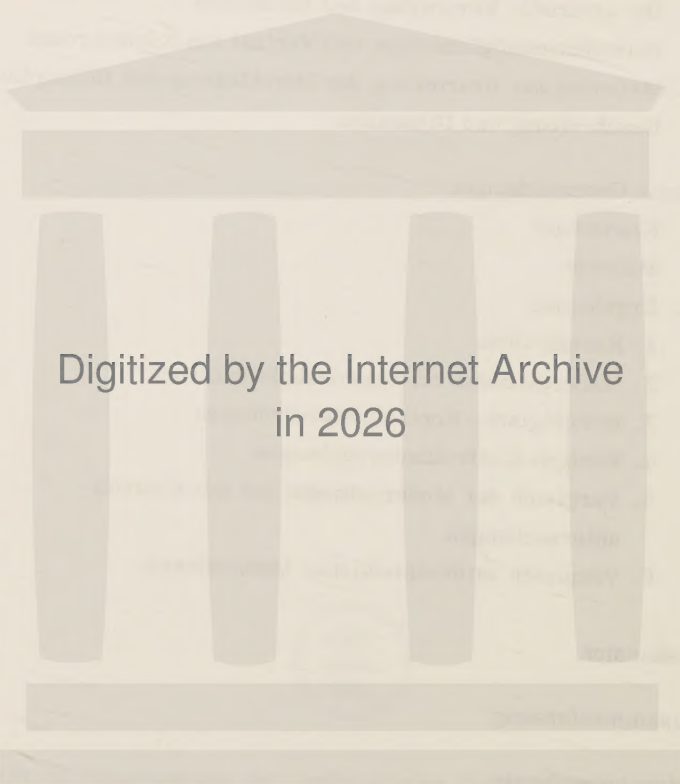


Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fachbereiche
der Freien Universität Berlin.

Promoviert am: 30.11.1972

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	5
Literaturübersicht	7
I. Die arterielle Versorgung des Hüftkopfes	7
II. Entstehungsmöglichkeiten und Verlauf von Kopfnekrosen	13
III. Methoden zur Beurteilung der Durchblutung des Hüftkopfes	
Beschreibung und Diskussion	20
Eigene Untersuchungen	32
I. Krankengut	32
II. Methode	33
III. Ergebnisse	37
1. Normalwerte	37
2. Meßergebnisse bei Schenkelhalsfrakturen	41
3. Histologische Kontrolluntersuchungen	42
4. Röntgen-Kontrolluntersuchungen	48
5. Vergleich der Meßergebnisse mit den Kontroll-	
untersuchungen	55
6. Vergleich unterschiedlicher Meßmethoden	63
Diskussion	66
Zusammenfassung	77
Literaturnachweis	78



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Einleitung

Die operative Versorgung von Schenkelhalsbrüchen, beginnend mit der Entwicklung des Dreilamellennagels von SMITH-PETERSEN 1927, erhielt eine wesentliche Ergänzung durch die Anwendung von Hüftendoprothesen. Gleichzeitig gewannen Vitalitätsprüfungen der Hüftkopfdurchblutung an Bedeutung für die schwierige Indikation des primären plastischen Kopfersatzes.

Nach der heutigen Auffassung stellen Vitalitätsprüfungen eine Zusatzuntersuchung dar. Unter diesem Gesichtspunkt wurde für diese Arbeit eine intraoperative Methode von FORGON u. Mitarb. gewählt, von der angenommen wurde, daß ihre Anwendung in jedem größeren Krankenhaus ohne wesentlichen Zeitaufwand möglich ist.

Ziel dieser Arbeit ist es, diese Methode während des chirurgischen Routinebetriebes zu erproben und die Ergebnisse im Vergleich zu anderen Methoden kritisch zu werten. Dabei soll erörtert werden, in welcher Weise Vitalitätsprüfungen geeignet sind, die prospektive Regenerationspotenz (ENDER 1968) des Kopffragmentes zu bestimmen, d.h. in welchem Maße das Ergebnis eine Prognose zuläßt. Denn zwei Komponenten beeinflussen den Heilungsverlauf maßgeblich, die schon 1856 von dem Anatomen HYRTL (59) formuliert worden sind: Die "Gefäßarmut des abgebrochenen Schenkelkopfes" und die "Unmöglichkeit, die Bruchenden dauernd in Kontakt zu halten". Die zweite "chirurgische" Komponente hat sich bei steigender Verbesserung der operativen Technik verkleinert. Die Rate der Pseudarthrosen wird heute mit 10 - 15 % angegeben, sie ist ferner in den 25 - 30 % der entstehenden Kopfnekrosen enthalten (BUCHHOLZ 1972).

Dem wesentlichen Anteil der Kopfnekrosen liegt jedoch die erste, gefäßbedingte Komponente zugrunde, deren Bedeutung gerade im Zuge der operativen Verbesserungen voll erkannt wurde. Therapeutisch bis-

her wenig beeinflussbar, wurde erst in jüngster Zeit eine Erhöhung der Heilungsquote auf 97 % durch Transplantation eines gestielten Muskel-lappens an den Schenkelhals beschrieben (MEYERS 1972). Hierdurch soll eine Revaskularisierung des Femurkopfes möglich sein.

I Die arterielle Versorgung des Hüftkopfes

Der gestörten arteriellen Versorgung des Hüftkopfes kommt für die Entwicklung von Nekrosen eine besondere Bedeutung zu. Denn dieses Gebiet besitzt eine erhöhte Anfälligkeit gegen Traumen, begründet durch die Besonderheit der Gefäßversorgung. Dies erklärt sich aus der funktionellen Anatomie des Hüftgelenkes, dessen Hauptcharakteristik seine außerordentliche Beweglichkeit ist (97).

Nicht nur der Femurkopf, sondern auch der größte Teil des Schenkelhalses sind ganz von der Gelenkkapsel überzogen. Ursache dafür ist die dem aufrechten Gang angepasste Form und Größe des Schenkelhalses als Ergebnis einer phylogenetischen Wendung, Drehung und Knickung sowie einer ontogenetischen Streckung (85).

Eine direkte Versorgung des Kopfes aus dem Halssegment soll lediglich durch einzelne kleine Aa. nutritivae erfolgen, sie sind jedoch ohne wesentliche Bedeutung (63, 95). Andere Autoren konnten keine in den Kopf ziehende Gefäße nachweisen (96). Die nutritive Versorgung soll im Trochanterbereich enden (100).

Die Blutversorgung des Kopfes erfolgt also ausschließlich indirekt über Gefäße, die von außen in das Kopfsegment ziehen. Die Hauptarterienversorgung erreicht das proximale Ende des Oberschenkels über die A. circumflexa media. Diese Arterie ist ein Ast der A. femoralis, sie entspringt aus ihr in zahlreichen Varianten.

Am häufigsten kommt sie zusammen mit der A. femoris profunda und der A. circumflexa lateralis aus einem truncus profundus circumflexus perfectus (51 - 63 %).

In 20 - 24 % entspringt sie direkt aus der A. femoralis. Sie kann auch erst aus der femoris profunda abzweigen, entweder direkt oder mit Hilfe der A. circumflexa femoris lateralis (50).

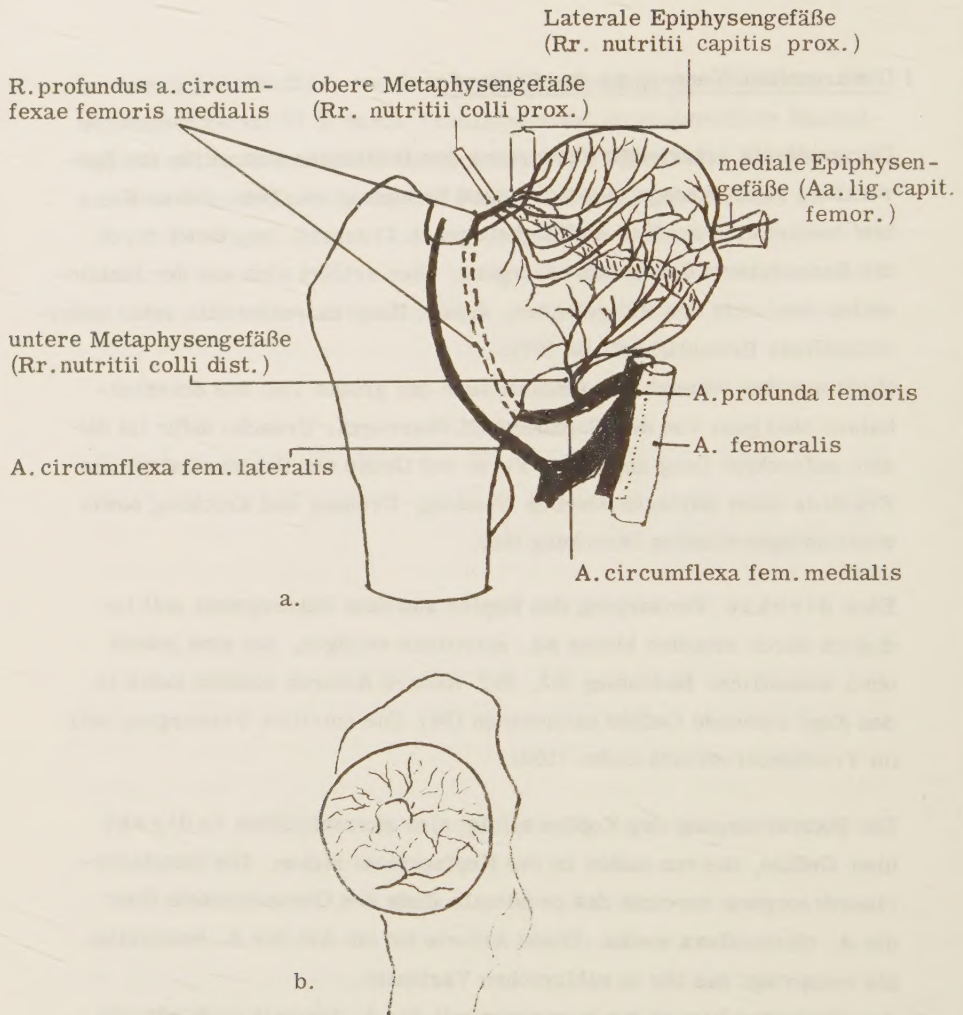


Abb. 1: Schematische Darstellung der Gefäßversorgung des Hüftkopfes

- a. Ansicht von ventral. Stammgefäße (nach v. Lanz u. Wachsmuth) sowie extra- und intraossärer Verlauf der vier Versorgungssysteme mit ihren Anastomosen (nach Mikroradiogrammen von Trueta und Harrison).
- b. Ansicht von medio-lateral: Intraossäre Gefäße im Hüftkopf. Im Bereich der oberen zwei Drittel Arkaden der lateralen Epiphysengefäße. Anastomosen mit medialen Epiphysengefäßen (Mitte) und unteren Metaphysengefäßen (unteres Drittel). (Nach Mikroradiogrammen von Trueta und Harrison und Brodetti)

Die Arterie verläuft dann zwischen dem *Musc. iliopsoas* und dem *Musc. pectineus* nach dorsal. Nach Aufzweigung in einen oberflächlichen und einen tiefen Ast verläuft der *Ramus profundus* zum *Trochanter minor* hin und erreicht, den Schenkelhals dorsal umfassend, die *Fossa intertrochanterica*. Neben zahlreichen Muskelästen wird als erster Ast zum Schenkelhals der *Ramus nutritius colli distalis* abgegeben, der in einer medialen Innenhautfalte der Kapsel unter der periostalen *Synovialis* zum unteren metaphysären Kopfanteil zieht.

Nach neueren Untersuchungen (95) handelt es sich um mehrere Gefäße mit meist stärkerer Ausbildung eines Gefäßes, welche zahlreich untereinander anastomosieren. Sie dringen nahe am unteren Kapselrand in den Schenkelhals ein.

Der Hauptstamm des *Ramus profundus* zieht weiter über den *M. obturatorius externus* bis fast zum oberen Pol des Schenkelhalses rund um den unteren Teil der Lateralseite des Schenkelhalses, und zwar so eng, daß er teilweise in die Kapsel nahe ihrer periostalen Befestigung eingeschlossen wird. In diesem Bereich entspringen die *Rami nutritii colli et capitis proximales*. Sie liegen hier unter der periostalen *Synovialis* in Innenhautfalten.

Ein drittes Gefäßsystem ist an der Versorgung des Hüftkopfes beteiligt: Die *Aa. ligamenti capitis femoris*, Äste der aus der *A. obturatoria* stammenden *A. acetabularis*. Über das Ausmaß der Beteiligung dieser Gefäße an der Versorgung des Hüftkopfes sind die Ansichten geteilt. Die meisten älteren Autoren waren der Ansicht, daß keine oder nur bedeutungslose Gefäßchen durch das *Ligamentum capitis* ziehen. Dagegen konnte SCHMORL (1924) durch Serienschnitte nachweisen, daß auch bei alten Menschen Gefäße in den Hüftkopf eintreten. Untersuchungen neueren Datums bestätigen den Befund. Es werden in 70 - 75 % der untersuchten Hüftkopfbänder Gefäße mit einem Durchmesser von 0,3 mm (98) bis 0,5 mm (24, 90) gefunden. Dabei ist die Gefäßgröße einer erheblichen Schwankungsbreite (bis 1,9 mm) unterworfen.

Wie verhalten sich die quantitativen Anteile der drei Gefäßsysteme an der Hüftkopfdurchblutung?

Mikroangiographische Untersuchungen (95) ergaben, daß diese Frage eng mit der Verknöcherung des knorpeligen kindlichen Hüftkopfes verbunden ist. Bei Neugeborenen verläuft

1. eine Gefäßgruppe von lateral zum Hüftkopf. Die Autoren nennen diese Gefäße nach ihrem intraossären Verlauf laterale Epiphysengefäße (Wachstumsrichtung in die Epiphyse und zur Gelenkoberfläche) und obere Metaphysengefäße (Verlauf senkrecht zum Schenkelhals). Sie haben für gewöhnlich einen gemeinsamen Ursprung und entsprechen den Rr. proximales.

2. Eine 2. Gruppe übernimmt das untere Metaphysensegment. Die Gefäße kommen von der medialen Seite der Metaphyse und steigen gerade in die Epiphyse auf. (Untere Metaphysengefäße). Sie entsprechen den Rr. distales.

Die Gefäße der 2. Gruppe atrophieren in ihrem intraossären Verlauf zunehmend während der Bildung der Epiphysenlinie und der knöchernen Umwandlung des Knorpels. Das entspricht einem Zeitraum von 18 Monaten bis zum 11. - 12. Lebensjahr. Im Zeitraum 18 Mon. - 6. - 8. Lebensjahr stammen ca.

70 - 80 % der gesamten versorgenden Blutmenge aus den lateralen Epiphysenarterien. Vom 6. - 12. Lebensjahr kommt es zum Eindringen der Ligamentgefäße bzw. medialen Epiphysengefäße in die mediale Epiphyse und zur Bildung von multiplen Anastomosen mit den lateralen Epiphysengefäßen. Vom 11. - 12. Lebensjahr bis zum Epiphysenschluß findet schließlich eine Proliferation der metaphysären Gefäße statt. Sie durchbrechen zudem die Epiphysenlinie und anastomosieren mit den Epiphysengefäßen. Bis ins Greisenalter bleibt dieses Gefäßsystem erhalten.

Die Epiphysengefäße sind in einer charakteristischen Reihe

von Arkaden angeordnet: Von den Mutterstämmen zweigen zahlreiche Äste in einem Winkel von ca. 90 Grad ab und verlaufen senkrecht zur Gelenkoberfläche, entsprechend dem Verlauf der Trabekel des Kopfes. Von diesen Zweiggefäßen gehen weitere Gefäße ab, die wiederum die gleiche Anordnung aufweisen. So ergibt sich eine ausgesprochen mehrschichtige Anordnung der intraossären Epiphysenarterien.

Das bogenförmige System der Anastomosen fehlt bei den Metaphysengefäßen. Sie weisen einen geradlinig oder abgewinkelt zur Epiphyse ziehenden Verlauf auf.

Die oberen Metaphysengefäße haben den gleichen Ursprung aus den R. proximales wie die lateralen Epiphysengefäße und treten an der oberen Seite des Schenkelhalses etwas unterhalb des Gelenkknorpels in den Knochen ein. Sie verlaufen dann geradlinig vertikal nach unten in den Schenkelhals und wenden sich, nachdem ca. 1/4 der Strecke zurückgelegt ist, plötzlich zur Epiphysenlinie.

Die unteren Metaphysengefäße treten nahe dem unteren Rand des Gelenkknorpels in den Knochen ein. Mehrere Gefäßästchen verteilen sich einerseits über einen großen Teil der Metaphyse, andere kleine Gefäße ziehen nach oben zur Epiphyse. Zwischen den Gefäßsystemen der Epiphyse und der Metaphyse haben sich bis zum Epiphysenschluß reichlich Anastomosen gebildet.

Der extraarticuläre Verlauf der Arterien des Schenkelhalses war bereits zahlreichen Autoren des 19. Jahrhunderts bekannt (80, 67). Die besondere Bedeutung der oberen Kapselarterien für die Ernährung des Hüftkopfes wurde 1924 von NUSSBAUM erstmals betont. Er nannte die Gefäße "rami nutritii colli et capitis". Die nachfolgenden Untersuchungen bestätigen das Primat der oberen Kapselgefäße als Rami nutritii proximales (68, 98, 76, 50). TRUETA und HARRISON (1953) trennten die

Gefäße der Rami proximales im Hinblick auf ihre Bestimmung im Laufe der Entwicklung des Schenkelkopfes in laterale Epiphysengefäße und obere Metaphysengefäße. Beide Gefäßgruppen können als gemeinsamer Stamm oder getrennt aus dem Ramus profundus der A. circumflexa media entspringen.

TRUETA ist von dem Primat der lateralen Epiphysengefäße für die Durchblutung des Kopfes überzeugt, die er im gesamten Verlauf der Wachstumsperiode nachweisen konnte. Trotz zahlreicher Anastomosen der kindlichen Gefäßsysteme sind nach seiner Ansicht auch im Erwachsenenalter die entsprechenden epiphysären bzw. metaphysären Kopfbezirke überwiegend von den zugehörigen Arterien abhängig. Danach sind die lateralen Epiphysengefäße für $4/5 - 2/3$ der Versorgung der Epiphyse zuständig. (ausgenommen medialer Anteil). Der laterale obere Anteil der Kopfkalotte trägt die Hauptbelastung. Die 2 - 6 Stammgefäße haben mit durchschnittlich 0,83 mm den weitaus größten Durchmesser aller Kopfgefäße (98).

Die benachbarten oberen Metaphysengefäße (2 - 4) zeigen dagegen nur einen halb so großen Durchmesser (0,4 mm). Sie versorgen primär $1/3$ des metaphysären Kopfbereiches.

$2/3$ des metaphysären Kopfanteiles sowie angrenzende Teile des Collums werden von den unteren Metaphysenarterien (entspr. den Rr. distales) versorgt. Die Stammgefäße ergaben einen Durchmesser von durchschnittl. 0,4 mm (98).

Umstritten ist die Bedeutung der Ligamentgefäße. Sie entsprechen den medialen Epiphysengefäßen und versorgen primär das Gebiet um die Fovea capitis ($1/5 - 1/3$ des epiphysären Kopfanteiles).

II. Entstehungsmöglichkeiten und Verlauf von Kopfnekrosen

Während HYRTL (59) die am Schenkelhals verlaufenden Gefäße für belanglos hielt, wurde ihre Bedeutung bereits von COOPER 1822 erkannt. Er sah die Kopfnekrose als zwangsläufige Folge der Schenkelhalsfraktur an. Dagegen konnte FRANGENHEIM 1906 mit ersten histologischen Befunden die Heilung einer lateralen Schenkelhalsfraktur beweisen. Über Entstehungsmöglichkeiten, Ausmaß und Verlauf von Kopfnekrosen sind seitdem zahlreiche Untersuchungen erfolgt. Erste Ergebnisse bei frischen Brüchen gehen auf AXHAUSEN (1922) und SCHMORL (1924) zurück. Beide konnten feststellen, daß Nekrosen unterschiedlichen Ausmaßes schon unmittelbar im Anschluß an die Fraktur vorhanden sein können. Zu den gleichen Ergebnissen kamen BERNBECK (1950), FELSENREICH (1938 - 40) und GRAF (1959), die LANGE (1951) unter dem Begriff der primären posttraumatischen Nekrose zusammenfaßt. Neue Untersuchungen bestätigen diese Befunde.

CATTO (1965) fand bei 47 Untersuchungen in 55 % partielle Nekrosen, 34 % ergaben lediglich auf die Bruchfläche begrenzte Veränderungen. Dagegen erwiesen sich von 50 mittels Diaphorasereaktion untersuchten Schenkelköpfen (AMANN, KAUFMANN 1968) nur 2 Präparate als vital. Bei 48 Oberschenkelköpfen fanden sich devitalisierte Bezirke. Daß sich vitale Störungen an den Knochenzellen bereits nach 6 Stunden dauernder Ischämie nachweisen lassen, bewiesen RÖSINGH und JAMES (1968) durch quantitative Messungen der Feulgenfarbstoffbindung an DNA von Osteozytenkernen nach experimenteller Kopfgefäßunterbindung.

Die von den älteren Autoren vertretene Meinung, daß diese Nekrosen posttraumatisch entstanden sind, wird auch in den neuen Publikationen vertreten. Allerdings sind auch an nichtfrakturierten Hüftköpfen alter Patienten kleine, kalottennahe nekrotische Anteile im kranialen Pol vorhanden (1). DUFOUR fand 1952 histologisch Knochenzellnekrosen im Bereich des Schenkelhalses; dieses Gebiet bezeichnete er als praefrak-

turelle Zone. Ebenso halten AMANN und KAUFMANN (1968) es für möglich, daß die kalottennahen Gebiete des kranialen Kopfpoles eine praefrakturelle Zone darstellen, da in diesem Gebiet besonders häufig Nekrosen festgestellt werden. Praefrakturelle Zonen seien jedoch keinesfalls ein konstanter Befund. Dagegen weist ESCHBERGER (1968) aufgrund seiner 418 histologisch untersuchten Kopf-Halspräparate darauf hin, daß der Knochen alter Menschen in jedem Falle gealtert bzw. pathologisch verändert sei. Die Knochenbälkchen wiesen oft nur an den Randpartien und Osteoidsäumen lebende Zellen auf, die zentralen Anteile waren nekrotisch. Praefrakturelle Nekrosen werden als Folge einer Gefäßhyalinose angesehen (29). Sie stellen umschriebene, insgesamt kleine Zonen dar.

Demgegenüber ist das Ausmaß posttraumatischer Nekrosen vom Grad der Schädigung der ernährenden Gefäße abhängig. SCHMORL (1924) fand besonders ausgedehnte Nekrosen bei vollständiger Zerreißung des synovialen Überzuges. Kleinere keil- oder segmentförmige Nekrosen sind auf Zerreißung oder Obturation einzelner kleiner Gefäße zurückzuführen (6, 1, 61). Fleckförmige Nekrosebezirke sind die Folge von örtlichen Durchblutungsstörungen mit Ischämie (1).

Einzelne weitere Faktoren kommen als Nekroseursache infrage: Bei Operationen und Obduktionen sind Eindellungen des Kopfes gefunden worden. Sie wurden von AXHAUSEN als rein mechanisch entstandener Schaden, als trabekuläre Fraktur, bezeichnet. In gleicher Weise interpretierte LANGE (1931) solche Befunde als Femurkopffraktur. Experimentell ließ sich nachweisen (12), daß es durch Druck auf den Schenkelkopf zu einer Eindellung kommen kann, die sich beim Nachlassen des Druckes wieder aufrichtet und daher röntgenologisch nicht mehr nachweisbar ist. Es entstanden später kalottenförmige Nekrosen im kranialen Kopfabschnitt. HULTH (1961) interpretiert die subchondralen Nekrosen nicht als Folge der Impression, sondern als Folge einer Occlusion durch Hämatombildung. ESCHBERGER (1968) weist darauf hin, daß ein subcorticales Gefäßsystem vorhanden ist, an das die Kapsel- und Ligamentgefäße Anschluß haben. Dieses Gefäßsystem sei für die Ausbildung von Nekrosen von Bedeutung, wenn

es flächenhaft durch Kompression geschädigt wird.

Daß die Weiterentwicklung bzw. Überwindung dieser primären posttraumatischen Nekrose davon abhängt, ob eine ausreichende Ernährung des Hüftkopfes vorhanden ist oder rechtzeitig wieder eintritt, äußerten bereits AXHAUSEN (1922), SCHMORL (1924) und FELSENRICH (1938). Dieser Ansicht schlossen sich LANGE (1951) und BÖHLER (1953) an. Mit der topographischen Lokalisation der Gefäßschäden, wie sie erst HIPP (1958) mittels angiographischer Untersuchungen nach dem Unfallereignis in Verlaufsangiogrammen festgestellt hat, konnten die entsprechenden Frakturen nach Lage und Form in Beziehung gesetzt werden. Bei den Voruntersuchern herrschte über die Möglichkeit der Unterbrechung der Hüftkopfgefäße noch Unklarheit. DUBOIS (1953) betont die Wichtigkeit der Zirkulation in der hinteren Kapsel, die allerdings nur bei großer Dislokation der Fragmente unterbrochen würde. LANGE (1951), FROMMHOLD (1952) und BÖHLER (1953) weisen auf eine Unterbrechung der Blutzufuhr im Kopfbereich hin. WATSON-JONES (1955) sieht die stärkste Gefährdung der Gefäße bei hohen, subcapitalen Frakturen, weil hier die Möglichkeit bestünde, daß sämtliche zum Kopf führende Gefäße unterbrochen würden. Auch transcervicale Frakturen lägen im gefährdeten Gebiet, insbesondere beim Vorliegen einer Dislokation. Bei basisnah gelegenen Brüchen dagegen würde die Blutzufuhr zum Hüftkopf nicht unterbrochen, da der Kapseleintritt der Gefäße oberhalb der Fraktur liegt.

HIPP (1958, 1962) zeigt an charakteristischen Beispielen die Möglichkeiten der Entstehung von Hüftkopfnekrosen. Die Gefäße können grundsätzlich irreversibel oder reversibel geschädigt werden.

1. Eine irreversible Schädigung erfolgt primär durch Zerreißung im unmittelbaren Bruchgebiet: Dies tritt insbesondere bei subcapitalen Brüchen ein, d.h. im Knocheneintrittsgebiet der Rr. proximales und der Rr. distales. Vor allem bei starker Dislokation der Fragmente, wie sie typisch für Altersfrakturen ist, können die in einer Knorpelfalte

geschützten Rr. distales mit abreißen. Infolge starker Dehnung durch dislozierte Frakturfragmente können die Gefäße ebenfalls reißen.

Auch dabei sind die Rr. proximales in ihrer Verlaufsstrecke unter der periostalen Synovialis und im Ursprungsgebiet am R. profundus am meisten gefährdet. Brüche dieser Art liegen dann transcervical und basisnahe. Auch der R. profundus kann reißen.

2. Häufiger scheint jedoch bei letztgenannten Brüchen die sekundäre Schädigung durch Thrombosierung der gedehnten und gewundenen Gefäße zu sein. Im R. profundus kann hierdurch in ganzer Ausdehnung bis zur Teilungsstelle, d.h. bis über den Abgang des R. distalis hinaus, die Blutzufuhr unterbrochen sein. Diese Thrombosierung kann auch ohne Dislokation der Fragmente eintreten.

3. Inwieweit thrombotische Gefäßverschlüsse reversibel sind, sei dahingestellt. HIPP beschreibt den Fall eines 13 Jährigen, bei dem infolge Dislokation eine abnorme Gefäßdehnung über Wochen hinaus bestanden hat. Nach Reposition konnte angiographisch ein freier Durchgang der Gefäße festgestellt werden. Eine Hüftnekrose bildete sich daher nicht aus.

Die meisten von HIPP gezeigten Fälle lassen jedoch in Verlaufangiogrammen eine vollständige oder teilweise Obliteration der betroffenen Gefäße erkennen, eine Rekanalisation erfolgte nur in geringfügigem Maße und über kurze Strecken. Selbst wenn im Bereich der Teilungsstrecke eine Rekanalisation vorhanden war und sich damit der R. distalis darstellen ließ, bildete sich eine Kopfnekrose aus; die Blutzufuhr war also ungenügend.

Die Beispiele lassen folgendes erkennen:

A: Sind sämtliche Rr. nutritii unterbrochen, dann ist die Ausbildung einer Totalnekrose des Kopfes sehr wahrscheinlich. (HIPP sah lediglich teilweise versorgte epiphysäre Kopfanteile bei funktionstüchtiger A. ligamenti.) Dieser Fall kann einmal durch Abriß aller Rr. nutritii bei subcapitalen Frakturen mit starker Dislokation eintreten oder durch Obliteration des R. profundus bis über den Abgang der Rr. distales hinaus bei transcervicalen

und basisnahen Frakturen.

B: Sind alle Rr. proximales unterbrochen, was ebenfalls bei allen drei Frakturformen durch primären Abriß oder thrombosebedingte Obliteration der Rr. proximales und des R. profundus oberhalb des Abgangs der Rr. distales eintreten kann, dann bilden sich meist Teilnekrosen aus, und zwar im lateralen epiphysären und oberen metaphysären Kopfanteil.

Diese Befunde entsprechen den oben erwähnten Untersuchungen TRUE-TAS (1957), daß eine Teilung in epiphysäre und metaphysäre Gefäßversorgung bis zu einem gewissen Grade erhalten bleibt: Intraossäre Anastomosen zwischen Rr. proximales und distales haben demnach bei Unterbrechung aller Rr. proximales offensichtlich keinen wesentlichen Einfluß auf die Versorgungsgebiete der Rr. proximales. Gleiches gilt für die A. ligamenti: SCHMORL (1924) sah bei 34 medialen Schenkelhalsfrakturen, die ihrer Art nach eine vollständige Unterbrechung der übrigen Kopfgefäße zur Folge gehabt hätten, nur eine Totalnekrose. Er hielt folglich die Gefäße des Lig. capitis femoris für ausreichend, eine Kopfdurchblutung zu gewährleisten. Dagegen konnte HIPPEL (1962) lediglich teilweise versorgte epiphysäre Kopfanteile - entsprechend dem Versorgungsgebiet der Ligamentgefäße nach TRUE-TAS - bei funktionstüchtiger A. ligamenti feststellen.

In Bezug auf Gefäßrupturen ergaben postmortale mikroangiographische Untersuchungen (25) etwas abweichende Ergebnisse: Hier wird vor allem auf die Dominanz der lateralen Epiphysengefäße (Rr. proximales) für die Durchblutung des funktionell wichtigsten Hüftkopfanteiles, des cranialen Kopfquadranten, hingewiesen. Wesentliche Unterschiede ihrer Empfindlichkeit gegen Traumen zeigte die extraossäre Verlaufsstrecke der Gefäße gegenüber dem intraossären Anteil: Es wurde einerseits festgestellt, daß bei jedem experimentell erzeugtem Bruch distal der Eintrittsstellen der lateralen Epiphysengefäße in den Knochen, die sich unmittelbar am Ansatzrand des Kopfes craniolateral befinden, das obere Retinaculum, welches in seiner fibrösen Scheide die lateralen Epiphysen-

arterien enthält, vom Knochen abgezogen wird. Daher war eine beträchtliche Verschiebung der Fragmente ohne Schaden und sogar ohne Spannung der Gefäße möglich. Nur wenn das distale Fragment um eine Strecke, die der Hälfte des Hüftknochendurchmessers entspricht, nach oben verschoben war, wurde eine Spannung an den Gefäßen verursacht. TRUETA (1957) glaubt daher, daß der wellen- und spiralförmige Verlauf dieser Gefäße den Zweck hat, sie vor Schädigung durch allzu große Spannung zu schützen. Bei dieser Fragmentverschiebung wurde allerdings regelmäßig eine Schädigung der unteren Metaphyengefäße (Rr. distales) beobachtet.

Äußerst leicht dagegen können die Epiphysengefäße in ihrem Verlauf innerhalb des Knochens zerreißen, und zwar nach ihrem Eintrittspunkt in den Hüftkopf, wo sich der Schenkelhals ungefähr 0,5 cm unterhalb des Gelenkknorpelrandes steil nach oben wendet. Diese Eintrittszone ist schmal und befindet sich nur gelegentlich weiter distal. Wenn die Bruchlinie diesen Bereich erreichte, konnte CLAFFEY (1960) ohne Ausnahme feststellen, daß die Gefäße komplett zerrissen waren.

Auch TRUETA (1968) weist darauf hin, daß weitere Möglichkeiten der Gefäßschädigung bestehen, insbesondere bei ausgedehnten Repositionsmanövern, bei denen das distale Fragment in eine extreme Innenrotation gezwungen wird. Hierdurch könnten die lateralen Epiphysengefäße durch den Rand der Bruchoberfläche abgeschnitten werden. Auch extreme Adduktion könne die oberen Metaphysenarterien, die als Äste aus den lateralen Epiphysengefäßen entspringen, anspannen. Dies könne zur Thrombosierung durch Schädigung des Endothels führen. Eine fortschreitende retrograde Thrombosierung könne dann auch die Epiphysengefäße betreffen, die Folge wäre eine sekundäre Ischämie.

Auf sekundäre Gefäßschäden wurde auch schon von den älteren Autoren hingewiesen (92, 65), später von JANTZEN (1959), HERZOG (1962), HIPPE (1962) und (1970), sowie von EBERLE (1964). Diese Feststellungen sprechen dagegen, daß das Schicksal des Femurkopfes durch das Un-

fallereignis bereits entschieden wird. Die Frage, ob durch Nagel- bzw. Schraubensynthese ein die Vitalität des Hüftkopfes schädigendes Trauma gesetzt wird, konnte durch die Untersuchungen von BRODETTI (1960) und CLAFFEY (1960) beantwortet werden. Beide Autoren stellten fest, daß der verursachte Gefäßschaden aufgrund zahlreicher Anastomosen zu vernachlässigen sei. BRODETTI bezeichnet jedoch die Nagellage im äußeren hinteren Kopfquadranten als ungünstig, da hier die lateralen Epiphysengefäße verlaufen. Dagegen fand CLAFFEY, daß es unmöglich ist, mehr als einen der Gefäßäste gleichzeitig zu unterbrechen, gleichgültig in welcher Richtung der Nagel eingeschlagen wird. EBERLE (1968) ist der Ansicht, daß die Fovea centralis vermieden werden müsse. TRUETA (1968) beobachtete jedoch keine wesentliche Schädigung der Gefäße des Lig. teres.

Von mehreren Autoren wird einem weiteren Faktor eine nekrosefördernde Wirkung zugeschrieben: Experimentelle Untersuchungen ergaben, daß ein über längere Zeit erhöhter Gelenkdruck zu irreversibler Totalnekrose des Kopfes führt (89). Neueste Experimente (7) bestätigen, daß eine intracapsuläre Druckerhöhung von ca. 40 - 70 mm Hg zur totalen Kompression der Rr. proximales führt, während die Rr. distales etwas widerstandsfähiger sind. SOTO-HALL (1966) konnte nachweisen, daß allein das Repositionsmanöver bei intracapsulären Frakturen Drucksteigerungen im Gelenk auslöst, die das 20 fache der Ausgangswerte betragen. Auch PAUWELS (1949) weist auf den wichtigen Schädigungsfaktor des nekrosefördernden erhöhten Gelenkdruckes hin. Nach BUCHHOLZ (1972) beträgt der Druck auf die belastete Gelenkoberfläche beim Fall je nach Fallhöhe und Körpergewicht 144 - 370 kg/cm². Auch AMANN/KAUFMANN (1968) sehen bei stark dislozierten Frakturen mit voluminösem Hämatom die Möglichkeit einer beträchtlichen Druckerhöhung und damit erhöhter Disposition zur Nekroseentstehung.

III. Methoden zur Beurteilung der Durchblutung des Hüftkopfes

Beschreibung und Diskussion

Seit ca. 20 Jahren sind zahlreiche Methoden zur Beurteilung der Durchblutung des Hüftkopfes nach Schenkelhalsfrakturen entwickelt worden, von denen sich die meisten in 2 große Gruppen einteilen lassen. Es handelt sich um

1. Untersuchungen, die die Beurteilung von Störungen des venösen Abflusses ermöglichen sollen
2. Methoden zur Erfassung arterieller Durchblutungsstörungen

Ad 1: Das älteste und zugleich am meisten zur Anwendung kommende Verfahren ist die interossale Phlebographie (HULTH, 1953). Ein in den Kopf appliziertes wässriges Kontrastmittel, ca. 2 - 8 ml, ist nach ca. 2 min nicht mehr nachweisbar, falls ein ungehinderter venöser Abfluß vorhanden ist.

Gleichzeitig wird ein Venogramm als positiv bezeichnet, wenn sich abführende Venen darstellen, als negativ, wenn die Kontrastmittelfüllung der entsprechenden Venen fehlt (54, 55, 46). Prognostisch spielt die Tatsache, ob ein Kontrastmittelabfluß überhaupt nachweisbar ist, die entscheidende Rolle (33).

Dieser Abfluß erfolgt über zwei Venensysteme, entweder getrennt oder gemeinsam, so daß 3 Typen des Venogramms beobachtet werden: (54, 27, 31):

- a) Abfluß über die Venen der Circumflexa - Gruppe: Circumflexa-venogramm.
- b) Abfluß über die Venen des Lig. teres: Teresvenogramm.
- c) Circumflexa + Teresvenogramm.

Aufgrund der Ergebnisse der Nachkontrollen ergab sich eine richtige Prognose in 82 - 87 % bei positivem Venogramm, in 78 - 93 %

bei negativem Venogramm. (55, 48, 27, 34). Zu den positiven Venogrammen gehören auch Fälle mit ausschließlich venösem Abfluß über Gefäße des Lig. teres.

10 von 12 positiven Venogrammen ergaben eine richtige Prognose (54, 34). Daher ist EBERLE (1968) überzeugt, daß auch die arterielle Versorgung über die Ligamentarterien kompensatorisch zur Ernährung des Hüftkopfes ausreicht. Er beobachtete reine Teresvenogramme, vor allem in der Altersgruppe über 70 Jahre.

Eine andere Methode wurde als Farbstoff - Clearance-Untersuchung von PRICE (1962) beschrieben. Sie besteht darin, daß ein Farbstoff in den Femurkopf injiziert und anschließend die Farbstoffkonzentration im Blutplasma nach ein, zwei und fünf Minuten gemessen wird. Bei dem Farbstoff handelt es sich um Coomassie-Blau. Es verbleibt im Blut und zeigt nur geringe Affinität zu den Geweben. Da die Technik sehr einfach ist, wird die Methode als vorteilhaft angesehen. Es besteht jedoch bei den zu verwendenden 5 ml Flüssigkeit die Möglichkeit einer Schädigung des Gefäßendothels (57, 58).

Weitere Clearance - Methoden werden unter Verwendung von radioaktiven Substanzen beschrieben:

Nach Applikation von Na-24 in den Hüftkopf mittels einer Spezialkanüle wird die Abnahme der Aktivität über dem Hüftkopfgebiet während 10 min gemessen (LAING und FERGUSON 1959). Die Methode wurde bisher an 15 Patienten angewendet. Verlaufskontrollen fehlen.

Nach dem gleichen Prinzip wurde J-131 verwendet (HOLMQUIST, 1965). Die über dem Hüftgelenk gemessene Aktivität wird auf semilogarithmischem Papier ausgewertet. Indikator für die Durchblutung des Kopfes ist der Aktivitätsabfall innerhalb von 5 - 15 min p.i., 25 Fälle wurden untersucht. Ein Aktivitätsabfall von weniger als 5 % des "5 min-Wertes" gilt als Zeichen einer Durchblutungs-

störung.

Nach einer anderen Methode (JOHANSSON, 1962) wird die Zunahme der Aktivität über dem Herzen gemessen, nachdem ebenfalls J-131 intraspongiös appliziert wird. Es werden 15 - 25 Microcurie verwendet. Die gemessene Aktivität wird graphisch aufgezeichnet.

Es ergeben sich 3 Kurventypen:

- a) Ein steiler Kurvenanstieg unmittelbar nach der Injektion mit anschließender Ausbildung eines deutlich erhöhten Niveaus (Typ a) sprechen für einen guten venösen Abfluß.
- b) Der Typ b zeigt einen nur geringen initialen Anstieg mit niedrigem Niveau. Er zeigt einen verminderten venösen Abfluß an.
- c) Ein fehlender, bzw. nur sehr geringer Anstieg charakterisiert den Typ c. Er weist auf eine starke Beeinträchtigung des venösen Abflusses hin.

Nachkontrollen ergaben beim Kurventyp a eine richtige Voraussage in 84 % der Fälle, d.h. keine Kopfnekrose.

Beim Typ b trat in 68 % Heilung ein.

Beim Typ c ergab sich eine Kopfnekrose in nur 69 %.

Bessere Ergebnisse brachte die gleichzeitige praecordiale Messung nach intratrochanterer Aktivitätsinjektion und die Errechnung einer Trochanter - Kopf - Relation aus beiden Kurven: Bei Quotienten unter 3 ergab sich eine richtige Voraussage in 83 % der Fälle, d. h. keine Kopfnekrose. Bei Quotienten zwischen 3 und 7 ergab sich dagegen in 63 % Heilung, in 37 % eine Kopfnekrose. Bei Quotienten über 7 zeigten sich in 90 % Nekrosen.

Eine Variation der Methode von JOHANSSON stellt die Untersuchung von SPIER und SCHABERT (1968) dar. Sie messen den Aktivitätsanstieg nicht über dem Herzen, sondern im venösen Blut, welches nach 2, 4, 6 und 10 min p.i. entnommen wird. Diese als Radiojodtest durchgeführte Untersuchung ergibt ähnliche Kurventypen wie bei der Methode von JOHANSSON und dürfte in gleicher Weise zu

werten sein. Nachuntersuchungen fehlen noch. Vier Fälle, bei denen der Test einen Kurventyp c ergeben hatte, wiesen histologisch avitale Hüftköpfe auf. Der Radiojodtest ergab bei gleichzeitiger venographischer Kontrolle ähnliche Ergebnisse, wie die Phlebographien.

Die Durchblutungsuntersuchungen des venösen Gefäßschenkels weisen in zweierlei Hinsicht Fehlerquellen auf.

Die eine Seite betrifft technische Fehler, bedingt durch die Impresibilität der jeweiligen Flüssigkeiten: Kontrastmittel, Farbstoffe oder Isotopensubstanz, die mit einem gewissen Druck in die Knochenspongiosa injiziert werden. Sie bahnen sich intraspongios den Weg des geringsten Widerstandes. Aus verschiedenen Ursachen kann daher die injizierte Substanz in den Bruchspalt gelangen. So ergeben sich falsch positive Ergebnisse, insbesondere bei den Clearance - Methoden, infolge eines venösen Abtransportes der Substanz aus dem Bruchspalt über die Venen der Trochantergegend. Diese Möglichkeit besteht bei frischen Schenkelhalsfrakturen, wenn die Untersuchung zu früh ausgeführt wird und die zerrissenen Sinusoide noch nicht koaguliert sind (58, 40). Es ist daher notwendig, 7 - 10 Tage zu warten. JOHANSSON führt die Untersuchung 3 - 5 Tage nach dem Unfall durch. Auch HERZOG (1962), sowie SPIER und SCHABERT (1968) halten die frühe Untersuchung für unzweckmäßig, da traumatische Gefäßspasmen zu Fehlergebnissen führen könnten. Ebenso können Fehlergebnisse durch einen zu hohen Injektionsdruck (62, 58) sowie durch Ausfließen der Untersuchungssubstanz durch Bohrlöcher oder Risse im Hüftkopf (94) erhalten werden. Zu große Kontrastmittelmengen, bzw. zu hoher Injektionsdruck (94) können das Gefäßendothel schädigen. Ferner bleibt bei Verwendung von über 8 ml KM ein Teil des KM im Knochenmark oder Knochengewebe hängen. Es wird dann sehr langsam, innerhalb vieler Stunden, eliminiert. Der Zirkulationsbefund ist dann

nicht verwertbar.

Andererseits können anatomische und funktionelle Gegebenheiten zu Fehlbeurteilungen beitragen: Nach Traumen kommt es zu einer vermehrten Freisetzung von Thrombokinase aus lädierten Zellen. Das führt zur gesteigerten Blutgerinnung in den Gefäßen des Frakturbereiches und kann zumindest in den ersten Tagen negative Ergebnisse hervorbringen. Da jedoch oft kompensatorisch fibrinolytische Vorgänge die Blutbahn wieder freimachen, sind effektiv falsch negative Ergebnisse erhalten worden (3).

Im Zusammenhang hiermit ist sicher eine zweite Tatsache nicht ohne Bedeutung: Daß Venen eine andere Wandbeschaffenheit aufweisen als Arterien. Ein indirekter Rückschluß (34) auf die arterielle Blutversorgung aufgrund eines Ergebnisses einer der venösen Methoden, die nach FORGON (1966) im eigentlichen Sinne "indirekte" Messverfahren sind, ist daher, streng genommen, nur gegeben, wenn die Venen der Schenkelhalsregion erhalten sind. Dann sind die Arterien, die eng neben den Venen verlaufen (TRUETA und HARRISON 1953) ebenfalls unverletzt. Ein weniger sicherer Rückschluß ist bei negativen Ergebnissen möglich: Einerseits haben HULTH (1956), sowie GRAF und WERNER (1960) aufgrund zahlreicher anatomischer Präparate nachweisen können, daß bei einer erheblichen traumatischen Zerreißung der Venen auch die Arterien mitverletzt sind. Andererseits kann die Widerstandskraft der Gefäßarten gegen Beanspruchung auf Zerreißen nicht gleich geachtet werden: zweifellos zerreißen die Venen leichter (39, 34).

Bedeutsame Unterschiede bestehen jedoch zwischen beiden Gefäßsystemen im Hinblick auf ihre Belastbarkeit bei Druck oder Zug. Auf Zerrungen, Quetschungen und Kompression infolge Dehnung der Kapsel bei Dislocation der Fragmente (50, 39) oder durch Schwellung oder Hämatome der Umgebung der Kapsel oder des Gelenkes (94, 32) dürften die Venen wesentlich empfindlicher mit

Lumeneinengung und Intimaläsionen reagieren als die Arterien. Daher ist die Möglichkeit einer Thrombosierung der Venen eher gegeben als bei Arterien, insbesondere im Bereich ihres intracapsulären Verlaufes. In diesem Zusammenhang erscheint es bemerkenswert, daß EBERLE (1968) in 40 % der positiven Venogramme einen alleinigen KM-Abfluß über die Venen des Lig. teres. feststellte, insbesondere bei transcervicalen (39,5 %) und subcapitalen (32,5 %) Frakturen mit stärkerer Fragmentdislokation:

Das Ligament ist ja von den auftretenden Kompressions- und Zugkräften, ausgenommen bei Luxationen, nicht betroffen und außerdem physiologisch sehr beweglich.

Auffallend ist auch der außerordentlich breite mittlere Relationsbereich der T/H.-Quotienten bei den J 131-Clearance - Untersuchungen JOHANSSONS. Er beträgt 3-7. Hier ergab sich in 63 % eine knöcherne Heilung, in 37 % eine Kopfnekrose.

Im Vergleich zu Relationen bei Aktivitätsuntersuchungen des arteriellen Zuflusses (16, 17, 39) erscheint die venöse Methode in diesem Bereich sehr empfindlich zu sein. Das ist vielleicht bezeichnend für das, im Vergleich zu den Arterien, "empfindliche" Verhalten der Venen auf die traumatischen Dehnungs- und Kompressionskräfte.

Bevor im Folgenden die zweite Gruppe der arteriellen Blutuntersuchungsverfahren besprochen wird, sollen zunächst noch zwei Methoden Erwähnung finden, die sich nicht in die beiden Gruppen einordnen lassen:

Mit einer im Hüftkopf liegenden Kanüle läßt sich der intramedulläre Druck messen (MILES, 1955/59). Dazu muß die Kanüle jedoch frei im Intramedullärraum liegen, was sehr schwierig erreichbar ist. Die Methode ergibt in ca. 60 % eine Korrelation zwischen Untersuchungsbefund und Endresultat.

BRÜCKE u. Mitarb. (1965) bestimmen auf histologischem Wege

die Vitalität des Femurkopfes. Die Methode beruht auf einer histochemischen Darstellung der Diphosphorpyridinnukleotid (DPNH)-Diaphoraseaktivität eines größtenteils mitochondriengebundenen Enzyms in intraoperativ gewonnenen Knochenstanzen.

Experimentelle Untersuchungen ergaben, daß die Fermentaktivität nach unterbrochener Blutzufuhr innerhalb von 10 Stunden linear abnimmt. (AMANN und KAUFMANN 1968) Nachuntersuchungen zeigten bei Fällen mit fehlender Aktivität (avital) eine Fehlerquote von 10 %. Bei Fällen, die eine histochemisch vitale Kopfstanze aufwiesen, war eine prognostische Aussage in 80 % möglich gewesen (20).

Der empfindlichen, und daher genauen Methode haftet, ähnlich wie der P 32 - Methode der Fehler an, daß eine Aussage nur für das Gebiet des entnommenen Knochenzylinders möglich ist.

Ad 2: Zur Gruppe der Verfahren zur Bestimmung arterieller Durchblutungsstörungen gehört zunächst die älteste Methode aller Vitalitätsprüfungen. Sie wurde 1950 von TUCKER publiziert. Eine Stunde vor der Operation wird P-32 i. v. injiziert. Während der Operation werden dann Probeexzisionen aus dem Kopf und aus dem Trochanterbereich vorgenommen. Die erhaltenen Knochenzylinder werden anschließend verascht und die Aktivität beider Proben bestimmt. TUCKER führte die Trochanter - Kopf - Relatio ein, um die Durchblutung des Kopfes zu definieren.

Die Methode wurde in den folgenden Jahren durch die Entwicklung eines nadelförmigen Zählrohres verbessert (15, 16, 4, 17). Dieser Zähler hat einen Durchmesser von 2mm und entspricht einem Führungsdraht des Smith - Petersen - Nagels. Damit ist eine direkte Messung der Strahlenintensität im Knochen während der Operation möglich. Sie erfolgt frühestens eine Stunde nach Injektion, da nach 60 Minuten ein Plateau erreicht und eine weitere Zunahme der Aktivität geringfügig ist.

Die Untersuchung ist jedoch mit zahlreichen Fehlerquellen behaftet. BOYD und Mitarbeiter stellten 1963 fest, daß eine verlässliche Relation zwischen der Menge des vom Knochen absorbierten und des injizierten P-32 nicht besteht, denn die Aktivitätsabsorption ist von mehreren Unsicherheitsfaktoren belastet, vor allem von der Größe des Austausches zwischen interstitiellem P-32 und dem P-31 der Oberfläche der Knochenkristalle; dieser Austausch bedingt jedoch die Aufnahme der aktiven Substanz. Ein weiterer Faktor ist das Ausmaß der Diffusion von P-32 ins Interstitium.

Eine zusätzliche Fehlerquelle ist sowohl bei Knochenexcisaten, wie auch bei den Meßverfahren vorhanden: Eine Orientierung über die Zirkulation ist immer nur in dem unmittelbaren Gebiet, aus dem der Knochenzylinder stammt, bzw. in das die Meßsonde eingeführt wurde, möglich; denn schon 1 mm Gewebe absorbieren fast 90 % des Beta - Strahlers (34). Messungen in verschiedenen Kopfabschnitten haben deshalb sehr unterschiedliche Werte ergeben (4), so daß das Resultat weitgehend von der Lokalisation der Punktierungsstelle, bzw. von der Lage der Nadelspitze abhängt. Das Ergebnis kann daher im gleichen Femurkopf stark variieren. BOYD und Mitarbeiter (1955) empfehlen daher, die Aktivität im lateralen Epiphysensegment, dem oberen äußeren Kopfquadranten, zu bestimmen, da hier im Gebiet der stärksten Belastung besonders häufig aufgrund der gefäßanatomischen Gegebenheiten (97) partielle Nekrosen auftreten.

Nach ARDEN (1960) sind von 100 Untersuchungen fast 40 % aus technischen Gründen unbrauchbar. In 20 % ergibt sich keine Übereinstimmung mit dem Ergebnis der Nachuntersuchung. BOYD und CALANDRUCCIO (1963) erhielten bei zwei Dritteln der untersuchten Fälle eine Trochanter/Kopf - Relation von unter 3,0 bzw. über 5,9. Die Fälle mit Quotienten unter 3,0 werteten sie als erhaltene Durchblutung. Die Konkordanz mit den Nachuntersuchungen be-

trug 84 %. Quotienten über 5,9 wurden als mangelnde bzw. fehlende Durchblutung gewertet. Die Konkordanz betrug hier 79 %. 1/3 der Fälle ergab Quotienten zwischen 3,0 und 5,9. Hier war die Prognose zweifelhaft.

Wiederholte Untersuchungen wurden 1963 von MASSIE mit P-32 markierten Erythrocyten durchgeführt. Dies gelang dadurch, daß er zur Fixierung der Fraktur einen perforierten Nagel verwendete. Die Perforationen befinden sich in situ im Kopfbereich und außerdem in der Mitte des Schenkelhalses. Gemessen wird mit dem stabförmigen Zählrohr im zentralen Bohrkanal des Nagels. Das aktive Element registriert hier die Zahl der P-32 markierten Erythrocyten, die in der Zeiteinheit an den Perforationen im Kopf - bzw. im Halsbereich vorbeiziehen. Die ca. 1/2 Stunde p.i. postoperativ durchgeführten Messungen können in Lokalanästhesie zu jedem gewünschten Zeitpunkt wiederholt werden.

MASSIE fand bei 45 % seiner Fälle eine Kopf - Hals - Relation, die größer als 1 : 1,5 war. Diese Ergebnisse galten jedoch erst als pathologisch, wenn sich die Werte auch bei wiederholten Untersuchungen nicht besserten oder verschlechterten. Nachuntersuchungen ergaben dann in jedem Falle eine avasculäre Nekrose. Frakturen mit einer wiederholt normalen Ablesung bzw. mit primär pathologischen, später jedoch normalen Werten wiesen bei Nachkontrollen nur 14 % Nekrosen auf.

Eine polarimetrische Methode zur Messung der Sauerstoffspannung entwickelte WOODHOUSE (1961). Das aus einer inneren Platin-kathode und einer äußeren Silberanode bestehende Oxymeter wird durch eine Kanüle hindurch in den Hüftkopf eingeführt. Nachdem der Patient reinen Sauerstoff geatmet hat, ergibt sich ein sofortiger Anstieg der Sauerstoffspannung im Gewebe. Kontrollmessungen werden im Trochantergebiet durchgeführt. Anoxie läßt eine avasculäre Nekrose erwarten. Tierexperimente ergaben, daß erst eine vollstän-

dige Unterbrechung der zuführenden Gefäße, über 6 Stunden in 50 %, über 12 Stunden in 100 % zu morphologischen Manifestationen führt. Klinisches Material, vor allem im Hinblick auf Kontrolluntersuchungen, ist nicht vorhanden.

Arteriographische Untersuchungen geben nicht nur die Möglichkeit, morphologische Gefäßveränderungen zu erfassen, sondern es lassen sich auch pathologische Funktionszustände nach Frakturen dokumentieren.

ROOK (1953) erkannte als erster die Möglichkeit der prognostischen Aussage durch eine Arteriographie. Das Kontrastmittel wurde unterhalb des Leistenkanales in die A. femoralis injiziert. Dabei gelang es meist, nur einen Teil der zum Kopf führenden Gefäße abzubilden.

Eine Verbesserung wurde 1956 von MÜSSBICHLER durch die Anwendung der Serienangiographie erreicht. Durch Modifizierung der Injektionstechnik (Vorschieben der Punktionskanüle, bzw. des Katheters in die A. iliaca externa) gelang HIPPE (1958) die Darstellung sämtlicher Gefäße des Hüftkopfes einschließlich der Metaphysen- und Epiphysengefäße, sowie der A. acetabularis. Die Größe der A. ligamenti liegt unterhalb der röntgenologischen Darstellbarkeit.

Anhand von 50 normalen Angiogrammen (HIPPE 1962) ergab sich eine Übereinstimmung mit den anatomischen Befunden. Angiogramme bei Patienten mit posttraumatischen Kopfnekrosen (LANGE und HIPPE 1960) ergaben fehlende Füllungen der Meta- und Epiphysengefäße, sowie die verschiedensten Veränderungen des R. proximalis: partielle oder totale Füllungsdefekte, umschriebene oder totale Stenosen.

Besonders eindrucksvoll ließen sich auch regelmäßig bei partiellen Verschlüssen der kleinen Arterien Durchblutungsverzögerungen im R. profundus nachweisen. Charakteristisch bei Verschlüssen der Hüftkopfgefäße ist die fehlende Venenfüllung 10 - 12 sec. p.i..

Pathologische Angiogramme nach frischen Schenkelhalsfrakturen besserten sich bei den Fällen HIPPs (1932) nur selten. Abgesehen von Gefäßzerreißen erscheint es dem Autor auch zweifelhaft, ob sich thrombotisch verschlossene Gefäße rekanalisieren können. In den meisten Fällen ergaben Verlaufsangiogramme nur eine geringfügige Rekanalisation, die Folgen waren Nekrosen des Kopfes, die sich auch ergaben, wenn der R. profundus postoperativ wieder sichtbar wurde.

Ähnliche Befunde wurden 1963 von BRUGGER erhoben, der jedoch eine postoperativ erfolgte, teilweise Rekanalisation als Besserung registrierte. Statistische Angaben über die Signifikanz angiographischer Untersuchungen in Bezug auf Nachuntersuchungen liegen nicht vor, so daß prognostische Aussagen derzeit noch nicht möglich sind (21, 52).

Den Vorteilen der Arteriographie als einziger Methode, die eine genaue Lokalisation der Gefäßläsionen und den Funktionszustand der arteriellen Hüftkopfgefäße dokumentiert, - allerdings infolge des dichten peripheren Gefäßnetzes nur in der Hand des erfahrenen Angiographen - (34), stehen Nachteile gegenüber:

Die Anfertigung von Serienangiogrammen sind aus technischen Gründen intraoperativ (zur Zeit) nicht möglich. Prärepositionelle Angiogramme sind jedoch gerade bei Schenkelhalsfrakturen unzuverlässig, da es je nach Stärke der Fragmentverschiebung zu Dehnung, Verwindung und Kompression der Gefäße kommen kann (21, 50). Außerdem muß daran gedacht werden, daß neben Thrombosen auch Kompressionen durch Hämatome oder Spasmus vorliegen können (73). Dafür, daß sich nach Reposition die Zirkulationsverhältnisse verändern können, sprechen die Untersuchungen von BRUGGER: 5 von 12 Fällen wiesen bei postoperativen Kontrollen eine bessere Gefäßfüllung auf.

Daß außerdem der Zeitraum zwischen Unfallereignis und Reposition eine wesentliche Rolle für die Rekanalisation spielt und möglichst

klein gehalten werden muß, befürworten zahlreiche Autoren.

MAURER(1969) glaubt, daß die Möglichkeit einer Revitalisierung des Kopfes durch Kollateralbildung und Mesenchymreaktion im Bereich einer Thrombose bei jungen Patienten zwar gegeben, dagegen bei alten Patienten wesentlich eingeschränkt ist. Daher lasse ein angiographisch erkennbarer Gefäßverschluß bei jungen Patienten keine sichere Prognose zu.

1966 wurde eine Methode von FORGON, SZATAI und MILTENYI beschrieben, mit der eine direkte Vitalitätsprüfung des frakturierten Hüftkopfes mittels J-131- Serumalbumin möglich ist. An der Verteilungsdifferenz zwischen Aktivitätsmengen aus Serumproben und Punktaten aus dem Hüftkopf soll auf Durchblutungsstörungen im Hüftkopf geschlossen werden können. Zwischen der Höhe der Verteilungsdifferenz und dem Grad der Vitalitätsstörung soll eine direkte Relation bestehen.

1967 wurden von FORGON röntgenologische Kontrollergebnisse mitgeteilt, die nach ca. 1 Jahr durchgeführt wurden. Danach soll die Irrtumswahrscheinlichkeit etwa 10 % betragen.

Diese Methode erschien für eine Untersuchung in der vorliegenden Arbeit besonders interessant, da sie aufgrund ihrer relativ unkomplizierten Anwendung auch der technischen Ausrüstung kleinerer Krankenhäuser adäquat ist, und damit eine breitere Anwendung dieser Vitalitätsprüfung möglich schien, wenn die Ergebnisse mit anderen, komplizierteren Methoden vergleichbar sein würden.

Eigene Untersuchungen

I. Krankengut

Das Krankengut umfaßt 39 Schenkelhalsbrüche sowie 9 pertrochantere Frakturen, die in den Jahren 1967 - 1969 in der hiesigen Klinik behandelt wurden. Der Frakturtyp wurde nach den Gesichtspunkten von BÖHLER und PUTTI anhand der Röntgenbilder beurteilt.

Bei den 39 Schenkelhalsfrakturen handelte es sich ausschließlich um Adduktionsfrakturen nach BÖHLER. Nach PUTTI unterteilten sich die Frakturen in 27 subcapitale, 10 transcervicale und 2 basocervicale.

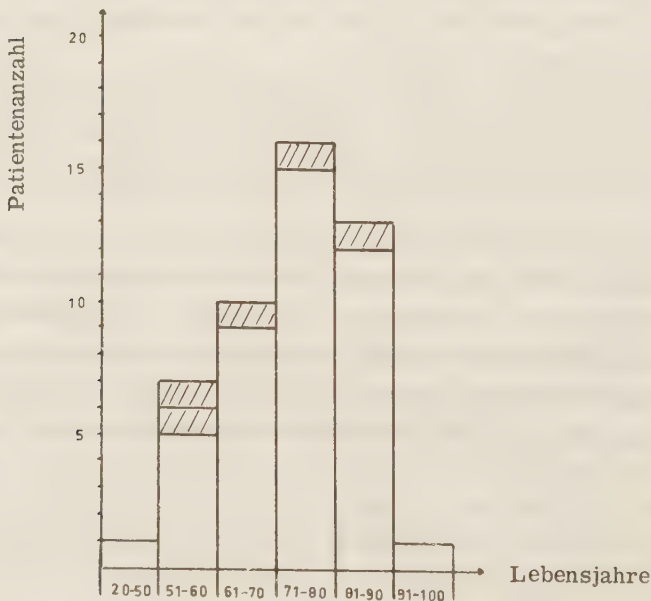


Abb. 2: Alters- und Geschlechtverteilung

 weiblich  männlich

Die Altersverteilung der Patienten ergibt einen deutlichen Anstieg der Frakturrate mit steigendem Alter, insbesondere vom 60. Lebensjahr ab, die höchste Rate liegt scheinbar zwischen dem 70. und 80. Lebensjahr, entspricht aber der relativ höheren Lebenserwartung in diesem Altersabschnitt gegenüber höheren Lebensjahren. Weibliche Patienten überwiegen mit 89,6 % der Gesamtzahl gegenüber männlichen Patienten (10,4 %).

II. Methode

Die Untersuchungen entsprachen im Prinzip dem von FORGON, SZATAI, MILTENYI beschriebenen "Verfahren zur Messung des Blutumlaufes im Caput femoris nach Schenkelhalsbrüchen mit durch Jod-131 markiertem Human-Serum-Albumin". Es handelt sich um die Ermittlung und Auswertung von Verteilungsdifferenzen der Substanz im Blut nach Schenkelhalsbrüchen. Durch Aktivitätsmessungen von Blutproben und serösen Knochenpunktaten werden Impulsraten bestimmt und miteinander verglichen. Die Wahl des markierten Human-Serum-Albumin (RIHSA) für diese Untersuchung wird durch dessen Eigenschaften bestimmt: Es bleibt chemisch über längere Zeit konstant und besitzt keine spezifische Affinität zum Knochengewebe.

Im Folgenden wird zunächst die Gewinnung der Knochenpunktate beschrieben. In Details wurde dazu die Originalmethode modifiziert. Dies erschien wichtig im Hinblick auf eine möglichst genaue Lokalisation der Entnahmestelle und eine möglichst störungs- und fehlerfreie Gewinnung der Punktate.

Eine erste Modifikation betrifft die zur Punktion benötigten Spezialkanülen. Sie wurden in Anlehnung an die Beschreibung von FORGON und Mitarb. von der Firma Geist & Co., Berlin, hergestellt. Sie sind 16 cm lang und besitzen den Durchmesser eines Führungsdrahtes für die Schenkelnagelung (1,5 mm). Im Abstand von 5 bis 15 mm befinden sich vier seitliche Öffnungen in der Kanüle ($\varnothing$ 1 mm), während das Kanülenende geschlossen ist und eine scharfe Spitze wie ein Trokar besitzt. FORGON und Mitarb. haben dagegen offensichtlich eine modifizierte Menghini-Nadel benutzt, die zwar seitliche Öffnungen, jedoch außerdem eine offene

Spitze aufweist. Damit ist die Möglichkeit gegeben, daß Spongiosazylinder beim Einstoßen der Kanüle in den Knochen das Lumen verstopfen.



Abb. 3: Kanüle zur Knochenpunktion

Der Sinn der Konstruktion der bei dieser Untersuchung benutzten Kanülen wird noch verständlicher, wenn im Folgenden die Methode der Punktion erläutert wird: Die Punktion des Hüftkopfes erfolgt nach Frakturposition und nach erfolgtem Einschuß der Fixationsdrähte. Zuvor werden etwa 1 - 2 ml RIHSA mit einem Aktivitätsgehalt von 12 - 18 μ Ci i.v. gegeben, ca. 5 Min. danach wird punktiert.

In dieser Phase wurde eine zweite Modifizierung der Originalmethode durchgeführt: Während FORGON die Saugkanüle in den Kanal des zentralen Führungsdrahtes, welcher vorher zurückgezogen wird, einführte, und zwar auch im Bereich des Kopffragmentes, wurde bei den hier vorliegenden Untersuchungen der Führungsdraht nur bis in das distale Halsfragment vorgetrieben! Nach Zurückziehen des Drahtes wurde dann die Kanüle über den Bruchspalt hinweg in das Kopffragment vorgestoßen. Dieses Vorgehen ist eine wichtige Vorbeugungsmaßnahme gegen fehlerhafte Punktate, da ein Rückfluß von Blut bzw. Gelenkflüssigkeit aus dem Bruchspalt in den Bohrkanal nach Zurückziehen des Führungsdrahtes bei gestörter Kopfdurchblutung, und damit relativ hoher Aktivität der Umgebung, das Ergebnis verfälschen könnte.

Die Lage der Kanüle im Kopffragment wurde nun mittels Durchleuchtungskontrolle in zwei Ebenen gesichert. Bei richtiger Kanülenposition ist die Lage möglichst zentral, die Spitze muß sich an der Corticalis befinden, denn nur dann sind alle seitlichen Öffnungen (maximaler Abstand von der Kanülenspitze 15 mm) innerhalb des Hüftkopfes, ein Ansaugen von Flüssigkeit aus dem Bruchspalt ist nicht möglich.

Vor der Punktion wurde die zum Ansaugen der Kopf­flüssigkeit benötigte Spritze und die Kanüle mit Heparin benetzt, d.h. nach Ansaugen des Heparin wurde der weitaus größte Teil durch mehrmaliges Durchspülen mit Luft wieder entfernt. Ein Füllen der Kanüle mit Heparin (FORGON) erwies sich nicht als notwendig, es hätte zur Verfälschung des Ergebnisses beitragen können. Beim Einführen der Kanüle in den Kopf erhielt die Kanüle außerdem einen Drain. In keinem Falle wurde so die Gewinnung von Flüssigkeit aus dem Knochen durch verstopfende Spongiosa- oder Fettpartikel oder durch Gerinnung des Punktates gestört.

Mit der Gewinnung des Punktates wurde nach Applikation des J-131 ca. 5 Min. gewartet, da mit einer verlangsamten Blutzirkulation in der Fraktur­gegend infolge Ödems gerechnet werden muß (FORGON 66). Durch mehrmaliges, kräftiges Zurückziehen des Spritzenkolbens konnte in allen Fällen Punktat erhalten werden, und zwar in Mengen zwischen 1 und 3 ml. Während des Ansaugens wurde die Kanüle rotiert. In vielen Fällen konnte dabei ein sichtlicher Anstieg der Punktatmenge beobachtet werden. Diese indirekte Kopfpunktion durch den Schenkelhals hindurch wurde bei 44 Patienten im Zuge der Nagelung vorgenommen.

Die Möglichkeit einer direkten Punktion wurde von FORGON und Mitarb. erwähnt. Bei 4 Patienten wurde deshalb vor Anlage einer Moore'schen Prothese eine Punktionstechnik in Anlehnung an die Technik bei Phlebographien erprobt: Vor Eröffnung der Gelenk­kapsel wurde die Kanüle in das Kopf­fragment eingeschoben, nachdem zuvor ein kleines Loch in die Kopfcorticalis gebohrt wurde. Die Punktion erfolgte hierbei von ventral, die Richtung der Kanüle lag meist etwas nach cranial und medial. Ihre genaue Lage im Zentrum des Fragmentes wurde im einzelnen unter Durchleuchtungskontrolle von der Lage des Kopf­fragmentes bestimmt. In allen Fällen wurde mühelos Punktat gewonnen.

In 37 Fällen wurde nach Erhalt des Kopf­punktates ein zweites Punktat aus dem Trochanterbereich unter Verwendung einer zweiten Punktionskanüle entnommen. Auch hierbei wurde nicht der Bohrkanal des Kirschner­drahtes verwendet, sondern die Kanüle wurde nach Passieren der

Corticalisbohrung in unverletzte Spongiosa vorgetrieben.

Gleichzeitig mit der Gewinnung der intraspongiösen Punktate wurden einige Kubikzentimeter Venenblut entnommen. Dabei wurde der Applikationsbereich des J-131 gemieden. Ferner wurden in 9 Fällen Knochenstanzen aus dem Kopf gewonnen.

Die Punktate wurden sofort nach der Entnahme zentrifugiert. Sodann wurden gleiche Volumina Plasma pipettiert und im Bohrloch mit einem Scintillationszähler der Firma Picker gemessen. Es wurden zwischen 0,3 und 1 ml Plasma gewonnen. Im Pipettieren genauer Mengen des Plasmas hat sich die Anwendung von Insulin-Einmal-Spritzen mit kleinsten Kanülen bewährt.

Bei 10 Proben führten wir gleichzeitig Messungen des nicht zentrifugierten Punktates durch.

Der Vergleich der ermittelten Impulsraten der einzelnen Proben wurden von FORGON und Mitarb. so formuliert, daß ein Verhältnis, z.B. der Impulsraten vom Kopfpunktat zum Blutpunktat gebildet wurde (z.B. 1 : 1,5). Hierbei wurde die niedrigere Impulsrate gleich 1 gesetzt. Bei Aktivitätsvergleichen der hier vorliegenden Untersuchungen wurden dagegen die Impulsraten der Blutpunktate durch die Impulsraten der Knochenpunktate dividiert. Hierdurch wurden Quotienten ermittelt, deren Höhe mit der Größe der Verteilungsdifferenz zwischen Blut- und Knochenaktivität zunimmt.

III. Ergebnisse

1. Normalwerte

J-131 Human-Serum Albumin verteilt sich nach intravenöser Applikation gleichmäßig im Blutgefäßsystem und verändert sich mindestens innerhalb von 10 Minuten nicht. Nach FORGON besteht kein Grund zu der Annahme, daß die Gefäßsysteme der Knochen ausgenommen sind, da sich Farbstoffe ebenfalls gleichmäßig intraossär verteilen.

Die Prüfung dieser Ansicht war die Voraussetzung für die Anwendung der Methode zur Bestimmung von Zirkulationsstörungen im Hüftkopf nach Schenkelhalsfrakturen.

Zur Gewinnung der Spongiosaflüssigkeit wurden Gebiete ausgewählt, in denen mit einer erhaltenen intraossären Blutzirkulation zu rechnen war.

Es handelt sich um:

1. 8 Kopfpunktate pertrochanterer Femurfrakturen.
2. 37 Punktate aus dem Trochanterbereich von Schenkelhalsfrakturen.

Die Auswahl der pertrochanteren Frakturen einerseits und der Trochantergebiete bei Schenkelhalsfrakturen andererseits zur Bestimmung von Normalwerten hatte 2 Gründe, die beiden Serien gemeinsam sind: Hüftkopf und Trochantergebiet des Femur haben eine getrennte, voneinander unabhängige Gefäßversorgung. Das Trochantergebiet wird von der A. circumflexa femoris lateralis, von Periost und intraossalen Gefäßen reichlich versorgt; die demgegenüber empfindliche Hüftkopfversorgung wurde eingehend besprochen.

Aufgrund der getrennten Gefäßversorgung wurden die beiden Serien so ausgewählt, daß das jeweilige Entnahmegebiet nicht im Bereich eines der beiden Gefäßversorgungsgebiete liegt.

Ad 1: Aus den Impulsraten des Serums der Venenpunktate dividiert durch die Impulsraten des Zentrifugates der Kopfpunktate ergaben sich Quotienten mit einer Schwankungsbreite von 1,05 bis 1,60. Der arithmetische Mittelwert betrug 1,42.

Zu ähnlichen Ergebnissen war FORGON 1966 gekommen.

	Pertrochantere Frakturen	Quotienten Mittelwert	Schwankungsbreite
Forgon 1966	5	1,8	1,0 - 3,5
Eigene	8	1,42	1,05 - 1,60

Tab. 1: Quotientenvergleich bei pertrochanteren Frakturen

Tabelle 2 zeigt, daß bei 5 Patienten Röntgenuntersuchungen bis zu einem Zeitraum von 3 Jahren ohne Nachweis von Kopfnekrosen erfolgten.

Fall	Alter	Kopf/Blut	Röntgen-Kontrolle
6	61	1,24	1/2 Jahr Ø
8	76	1,55	-
11	69	1,60	Osteomyelitis
13	80	1,43	19 Mon. Ø
14	61	1,05	2 Jahre, 10 Mon. Ø
18	76	1,20	1 Jahr Ø
19	59	1,37	-
23	79	1,10	18 Mon. Ø

Tab. 2: Ergebnisvergleich von Quotienten und Röntgenver-
laufskontrollen bei pertrochanteren Frakturen

Ad 2: Die Impulsraten der 37 Punktate aus den Trochanterbereichen von Schenkelhalsfrakturen wurden gleichfalls mit den entsprechen-

den venösen Impulsraten verglichen. Der durchschnittliche Quotient ergab 1,27 bei einer Schwankungsbreite zwischen 1,00 bis 1,83.

Es zeigte sich, daß die Quotienten aller 45 Untersuchungen innerhalb enger Grenzen liegen. Regelmäßig wurde jedoch eine gering verminderte Aktivitätsrate im Knochenpunktat festgestellt, d.h. ein etwas erhöhter Quotient entsprechend den Befunden von FORGON u.a.. Die Autoren begründen diese Tatsache mit der Beimengung interstitieller, also nicht aktiver Flüssigkeit zum Blut der Knochenpunktate. Die eigenen Ergebnisse haben aber nachdrücklich bestätigt, daß dieser Anteil interstitieller Flüssigkeit gering sein muß, ein wesentlicher Faktor entsteht dadurch nicht.

Die Ergebnisse lassen folgende Deutung zu:

1. Bei unverletzten Gefäßen und damit ungestörter Durchblutung findet sich im Trochanterbereich und im Hüftkopf des Femur keine unterschiedliche Aktivitätskonzentration.
2. Gegenüber der Aktivitätskonzentration des zum Vergleich dienenden Venenblutes ergibt sich regelmäßig eine nur sehr geringe Erniedrigung. Das bedeutet, daß sich venöse und intraspongiöse Aktivität bei unverletztem Gefäßsystem entsprechen.

Die 37 Trochanterpunktate wurden gleichzeitig mit den Kopfpunktaten der betreffenden Schenkelhalsfrakturen gewonnen.

Diese Kopfpunktate ergaben, wie anschließend besprochen wird, unterschiedliche, teils geringere, teils nicht verminderte Aktivitätsmengen im Vergleich zu den zugehörigen Aktivitäten der Venenpunktate.

Die Trochanterpunktate konnten, da sie aus einem frakturfernen, durch ein anderes Gefäßsystem versorgtem Gebiet stammten, zur Prüfung einer allgemeinen intraossären Zirkulationsstörung des betreffenden Patienten dienen. Sie hätten durch Arteriosklerose der Stammarterie beider Gefäßsysteme, der Arteria femoris profunda, oder infolge generalisierter Kreislaufstörungen in der

Narkose, vorhanden sein können. Wie die Ergebnisse der Trochanterpunktate zeigen, konnten diese Faktoren, die die Ergebnisse der Kopfpunktate infrage gestellt hätten, in keinem Falle nachgewiesen werden, obwohl die Patienten ein überwiegend hohes Lebensalter besaßen.

Insgesamt konnten die besprochenen Ergebnisse als Grundlage für die Bewertung und als Kontrolle für die im folgenden zu besprechenden Ergebnisse dienen.

2. Meßergebnisse intraoperativer Punktate aus den Hüftköpfen bei Schenkelhalsfrakturen

39 Patienten wurden untersucht. Die Gewinnung der Kopfpunktate erfolgte in 25 Fällen vor einer Schenkelhalsnagelung, in 5 Fällen vor Anlage einer Moore'schen Prothese. Durch Division der Impulsraten genau gleicher Mengen der Zentrifugate der Venenpunktate durch die Impulsraten der Kopfpunktate wurden Quotienten zwischen 1,2 und 16,1 ermittelt. Zwei Fälle konnten aufgrund technischer Fehler nicht verwertet werden.

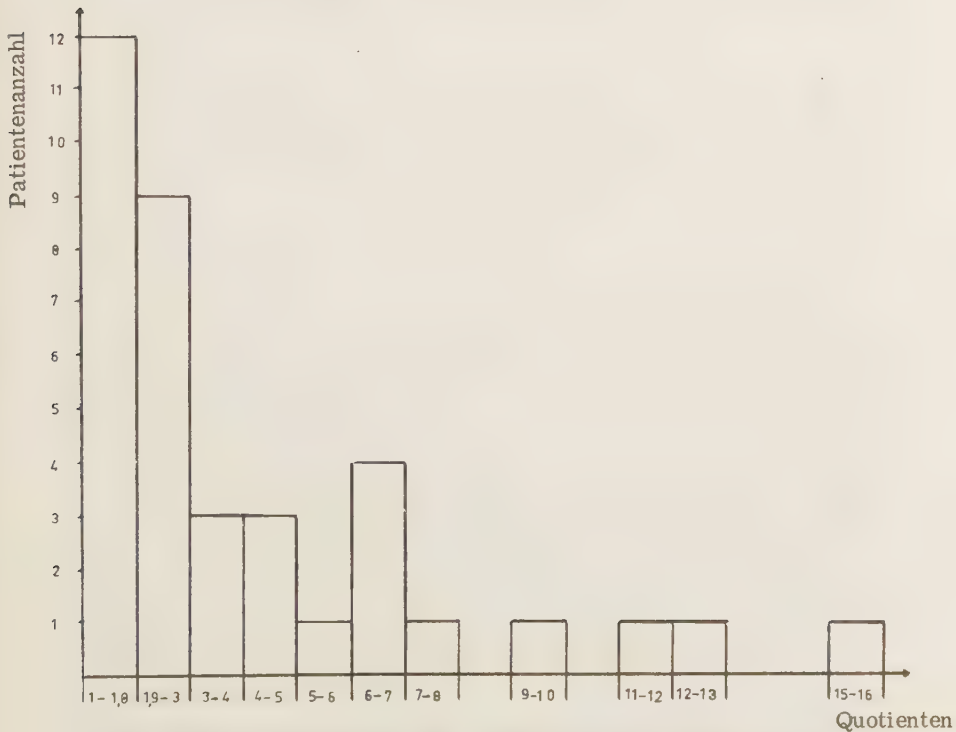


Abb. 4: Quotientengruppen von 37 Patienten mit Schenkelhalsfrakturen

Abbildung 4 zeigt die Quotienten von 37 Patienten, eingeteilt in Gruppen bei Erhöhung des Quotienten um jeweils 1,0 mit Ausnahme der ersten Gruppe. Hier wurde der Grenzwert der ermittelten Normalquotienten bereits berücksichtigt.

16 Patienten verstarben in einem Zeitraum nach der Fraktur, der für Röntgennachkontrollen zu kurz war. In einem Fall entwickelte sich eine Osteomyelitis, bei 7 weiteren Patienten wurde innerhalb der ersten Woche nach dem Unfall eine Moore'sche Prothese angelegt. Für Röntgenuntersuchungen verblieben somit 13 Patienten. Die Kontrollen wurden in einem Zeitraum bis zu 33 Monaten durchgeführt.

Außerdem lagen als Ergebniskontrollen 18 histologische Untersuchungen vor, teils als Stanzen, teils als Großflächenschnitte der exstirpierten Hüftköpfe.

Insgesamt wurden die Ergebnisse der Aktivitätsmessungen von 25 Patienten mit Kontrollergebnissen verglichen. Bei 6 Patienten lagen Röntgenbefunde und histologische Ergebnisse gleichzeitig vor.

3. Histologische Kontrolluntersuchungen

Histologische und histochemische Befunde ergaben, daß bereits innerhalb kürzester Zeit nach dem Unfall ein irreversibler Osteocyten Schaden in den betroffenen Gebieten eingetreten ist. Während morphologische Zeichen von Zellverfall erst nach mehreren Tagen bestehender Ischämie gefunden wurden (23), ließ sich mittels histochemischer Methoden die Zeitspanne bis zur Manifestation des irreversiblen Zellschadens auf 6 Stunden (87) bzw. 10 Stunden (1) festlegen. Histologische Untersuchungen (CATTO 1965) haben ferner gezeigt, daß sich die Nekrose anfänglich auf einen großen Teil des Kopfes ausdehnt. Diese Befunde wurden histochemisch bestätigt und präzisiert (AMANN, KAUFFMANN). Bei den bis zu 10 Tagen nach der Fraktur entfernten Kopfpräparaten ergaben sich in ca. 60 % Nekrosen, die mehr als die Hälfte des Kopfes einnahmen, ca. 25 % zeigten fleck-, keil- oder kalottenförmige Nekrosen

von einem Viertel bis einem Drittel des Kopfes, in 15 % der Fälle waren nur kleine fleckenförmige Nekrosen nachweisbar (weniger als ein Fünftel).

Auf die Nekrosen folgen erste Organisationsvorgänge, vorausgesetzt, daß der Kopf nicht, wie in seltenen Fällen, von jeder Gefäßzufuhr abgeschnitten ist. Hierzu gehören im engeren Sinne nicht nur die Kapselgefäße, sondern auch die Ligamentgefäße und die Frakturzone.

Diese erste Phase der Organisation wird von GRAF (1964) die humorale und zelluläre Phase genannt: Mobile Einzelzellen wandern aus dem überlebenden Nachbargewebe ein. Es folgt eine Resorption von Fett im toten Markgewebe, gleichzeitig wird Osteoid an den toten Spongiosabälkchen angelagert.

Darüber, ob es sich um echtes Osteoid handelt, gehen die Meinungen der Autoren auseinander. BONN (1924), FELSENREICH (1940), sowie PHEMISTER (1934), MAATZ (1959) und WINTER (1956), sowie GRAF (1964) und ESCHENBERGER (1968) sind davon überzeugt, daß es sich um Osteoid handelt, dem die Bildung von primordialem Knochen folgen soll. Gegen diese Ansicht wendet sich HERZOG (1962), da er niemals eine Osteoblastentätigkeit gesehen hat, an deren Vorhandensein eine echte Osteoidbildung gebunden ist, HULTH (1961) konnte teilweise eine Osteoblastentätigkeit an toten Trabekeln nachweisen, er spricht aber insgesamt von einer Mineralanlagerung.

Ob in dieser humoralen Phase echte, nach GRAF (1964) harmonische, der Osteoidbildung folgende Knochenaufbau- und Umbauvorgänge stattfinden, oder ob es sich um Ablagerung einer osteoidähnlichen Grundsubstanz handelt, beides wäre auf dem Röntgenbild nicht erkennbar: weder der harmonische Ab- und Aufbau der Trabekel, noch das Osteoid, denn es enthält zunächst keinen Kalk.

Nach etwa 10 bis 12 Wochen zeigt sich nach GRAF (1964) ein entscheidender Gestaltswandel in der Organisation, allerdings mit zeitlich erheblichen individuellen Schwankungen. Es beginnt die zweite, bindege-

webige Phase. An der Randzone der Nekrose bildet sich im Mark ein Oedem: In diesem fallen Fibrillen aus. Mit zunehmender Sklerosierung des Oedems und Bildung von Gefäßen entsteht Bindegewebe, das zunächst mantelartig um oder an den Nekrosebezirken liegt und eine resorptive Tätigkeit entfaltet. Dieser Vorgang ist charakteristisch und wird seit AXHAUSEN (1922) von allen Autoren beschrieben.

Unterschiedlich sind die Meinungen allerdings in Bezug auf den weiteren Verlauf, insbesondere, ob es sich um regeneratorische oder reparatorische Vorgänge handelt. Einigkeit besteht darin, daß große Nekrosebezirke wie ein Transplantat demarkiert werden, worauf schon AXHAUSEN hinwies. Mark und Spongiosa weisen keinerlei Vitalitätsmerkmale auf: die Trabekel sind unverändert, das Mark ist überwiegend kernlos, Bindegewebsbildung fehlt, oder es finden sich Fibrosen (56) ohne wesentliche, für Gewebe charakteristische Vaskularisierung. Eine Verkleinerung dieser Bezirke (44) ist möglich, Vaskularisation erfolgt jedoch nur über eine Strecke von 12 mm (96). Das Ausmaß der Vaskularisierung hängt somit unmittelbar von der Größe des Nekroseherdes und von der erhaltenen Vitalität seines Umgebungsgewebes ab. Kleine und allseits von vitalem Gewebe umgebene Nekrosen werden vollständig reorganisiert. Hierbei spielen sich die gleichen Vorgänge ab wie an den Randzonen größerer Nekrosen.

Über diese Vorgänge herrscht Einigkeit in Bezug auf Resorption und Bindegewebsersatz. Von den meisten Autoren wird eine darauf folgende Bildung primordialen Knochens beschrieben (81, 56, 44, 23). Von HERZOG 1962 wird dagegen die Bildung neuer Osteone bestritten. Er beschreibt lediglich einen Bindegewebsersatz als reparativen Vorgang. Betont wird allerdings auch von den anderen Autoren, daß der neue Knochen nicht vollwertig ist (36). Ein Strukturumbau im Sinne von funktionsgerechten Trabekeln erfolgt nicht (44). HULTH (1961) beschreibt, daß beide Vorgänge der Mineralisation nebeneinander ablaufen: Die Anlagerung von Kalk an alte Trabekel und die Bildung neuer Osteone aus Bindegewebe. Das Endergebnis, die sogenannte Hypersklerose, sei die Summation beider Vorgänge. Es ergeben sich dann verbreiterte, unreguläre

Trabekel mit unterschiedlicher Mineralisation.

Allgemein verläuft die bindegewebige Phase im Gegensatz zur humoralen Phase disharmonisch und erheblich langsamer, abgesehen von ihrem individuell sehr verschiedenen zeitlichen Beginn (44). Nach allgemein-pathologischen und biologischen Erfahrungen bedeutet sie eine Erschwerung der Organisation. PHEMISTER(1930) und HULTH (1961) beschreiben sogar ein zeitweiliges völliges Sistieren der Organisation, ein Vorgang, der szintigraphisch von BESSLER(1961, 1969) bestätigt wurde.

Die von uns untersuchten 19 Präparate, die in jeweils unterschiedlichen Zeiträumen, vom Tage der Fraktur an gerechnet (p.f.), entnommen wurden, entsprechen diesen Ergebnissen. (Tabelle 3)

Bei den zwei bis zum dritten Tag p.f. untersuchten Präparaten (Fall 22 und 46) wurden keine Veränderungen gefunden, obwohl bei einem Patienten (Fall 22) ein stark erhöhter Quotient vorlag.

Nach drei Tagen entnommene Präparate (Fall 41, 45, 47) wiesen dagegen vereinzelt bzw. partiell Mark- und Spongiosanekrosen auf. Bei zwei Patienten (Fall 41, 45) konnten Kopfnekrosen später röntgenologisch bestätigt werden. Ein weiteres, drei Tage p.f. entnommenes Präparat (Fall 16) zeigte trotz eines pathologischen Quotienten nur sehr kleine Zonen nekrotischen Markes. Der histologische Befund korrelierte jedoch mit dem 33 Monate später erhobenen negativen Röntgenbefund.

Von den 11 nach einer Woche p.f. und später erhaltenen Präparaten erwiesen sich zwei (Fall 5 und 18) als vollständig vital. Bei beiden Patienten hatte ein im Normbereich liegender Quotient vorgelegen; das Ergebnis konnte bei einem Patienten (Fall 18) durch Röntgenkontrolle nach 12 Monaten bestätigt werden.

Alle übrigen 9 Präparate wiesen mehr oder weniger starke Zeichen einer Devitalisierung auf. Ausnahmslos fanden sich Nekrosen des Markes, bei vier Fällen (15, 24, 36, 1) ausgedehnt, bei drei weiteren Fällen (48, 10, 17) subtotal.

Nekrosen der Kerne wurden in 6 der 9 Fälle gefunden, in 2 Fällen (48, 1)

Tab. 3:

Histologische Befunde
von Hüftköpfen nach
Schenkelfrakturen.
Quotienten und Röntgen-
befunde zum Vergleich.

Fall	Alter	Art	Entnah- menach	Kopfkalotte u. -mitte				Kopfbasis		Röntgenbefund	Quotient
				Mark	Spongiosa			N	VR		
					N	VR	N				
22 46	53 75	St Kopf	1 T 1 T	Ø Ø	Ø Ø	Ø Ø	Ø Ø	(+) (+)	(+) (+)	- -	12, 12 2, 15
47 16 41	61 93 57	St St St	3 T 3 T 3 T	Ø (+) (+)	Ø Ø (+) F.	(+)K. Ø + K.	Ø Ø Ø			- 33 M Ø 27 M Umbau partiell 21 M Umbau fortgeschr.	2, 26 3, 77 2, 86 1, 9
45	46	St	3 T	+	Ø	+	Ø				
15	70	St	6 T	+	Ø	+K., T.	Ø			24 M totale N.	9, 48
5 48 18	83 84 76	St Kopf St	7 T 7 T 8 T	Ø +++ Ø	Ø + R. Ø	Ø +++K. Ø	Ø Ø Ø	(+) (+)	(+) (+)	- - 12 M Ø	1, 43 2, 17 1, 20
42 10 24 44	82 70 88 66	Kopf Kopf St Kopf	11 T 13 T 13 T 14 T	++ ++ ++ +	Ø Ø ++R.F. Ø	++ Ø Ø ++K.	Ø Ø Ø Ø	++ ++ ++ ++	++ ++ ++ ++R.	- - - -	4, 78 12, 04 2, 27 2, 59
36 43 28	79 82 72	Kopf Kopf Kopf	22 T 2 M 21/2 M	++ (+) (+)	Ø + R. ++F.	++K. Ø +	Ø Ø +F.R. Ø	+++ ++ ++	+++ Ø Ø	- - -	16, 19 3, 67 1, 94
1 17	57 53	Kopf Kopf	4 1/2 M 16 M	++ +++	Ø (+)	+++K. ++++	Ø (+) K., T.	++ Ø	Ø +++ F.	Umbau part. hochgr. Umbau	5, 34 4, 41

N. = Nekrose
VR = vitale Reaktion
R. = Resorption
F. = Fibrose
T. = Trabekel
K. = Kerne
St = Stanze

(+) vereinzelt + partiell ++ ausgedehnt +++ subtotal ++++ total

subtotal, in 1 Fall (17) total. In 3 Fällen (15, 1, 17) war der Befund später röntgenologisch zu bestätigen. Ein Kopf ergab trotz auffallend hoch pathologischem Quotienten (Fall 10) keinen Nachweis von Spongiosanekrosen, obwohl eine subtotale Marknekrose vorlag. Nach HERZOG (1962) ist es möglich, daß in devitalisierten Köpfen die Färbbarkeit und Struktur der Kerne lange erhalten bleibt.

Der Nachweis von Organisationsvorgängen war nur bei vier Fällen zu führen. Hierzu gehören zwei nach sieben Tagen (Fall 48) bzw. 13 Tagen (Fall 24) gewonnene Präparate mit partieller bzw. ausgedehnter Zellinfiltration und Nachweis von Fettresorption. Zwei weitere, nach zwei Monaten erhaltene Kopfpräparate (Fall 28, 43) ergaben neben dem Nachweis von partieller Resorption eine partielle Fibrose. Hier war nur eine geringe Marknekrose vorhanden. Nach HERZOG (1962) deutet jedoch der Nachweis von Fibrose immer auf reparative Vorgänge als Folge einer Nekrose hin.

Insgesamt entsprechen die Befunde der Feststellung von GRAF (1964), AXHAUSEN (1922) und FELSENREICH (1938), daß erst nach etwa zehn Wochen eine Bindegewebsbildung im Zuge der Organisationsvorgänge zu erwarten ist.

Auffallend ist, daß bei keinem der infrage kommenden, d. h. zwischen 14 Tagen und 18 Monaten nach der Fraktur untersuchten Präparate mit ausgedehnten bzw. subtotalen Osteozytennekrosen eine vitale Reaktion der Spongiosa, insbesondere keine Osteoblastentätigkeit beschrieben wurde (Fall 44, 36, 1, 17). Dies würde den Feststellungen von HERZOG (1962) und HULTH (1956) entsprechen, die niemals bzw. selten eine Osteoblastentätigkeit an toten Trabekeln nachweisen konnten, entgegen der Ansicht anderer Autoren. Drei der Fälle (16, 1, 17) wiesen allerdings eine stark erniedrigte Durchblutungsrate auf, was auf eine ausgedehnte Nekrose schließen ließ. Vitalitätsmerkmale sind daher nicht zu erwarten(6).

Insgesamt ergaben die histologischen Untersuchungen, daß nekrobiotische Veränderungen in durchblutungsgestörten Köpfen vom 3. Tage nach der Fraktur erkennbar sein können, ausgedehnte Nekrosemerkmale können 1 Woche nach der Fraktur vorhanden sein.

Eine Übereinstimmung mit den Aktivitätsuntersuchungen bzw. Röntgenbefunden ergab sich in folgenden Punkten:

Zwei Fälle (5 u. 18) mit im Normbereich liegenden Quotienten ergaben keinen Nekrosenachweis. Ein weiterer Fall (16) mit pathologischem Quotienten wies analog dem negativen Röntgenbefund ebenfalls keine Nekrosemerkmale auf.

Die übrigen Präparate zeigten mehr oder weniger ausgedehnte Zeichen einer Devitalisierung, deren Ausmaß jedoch nur bei drei späten Untersuchungen (Fall 43, 1, 17) (zwei Monate nach dem Unfall und später) in Relation zur Höhe der Aktivitätsquotienten zu setzen ist.

Die anderen, bis zu zwei Monaten untersuchten, acht Fälle zeigen diese Übereinstimmung nicht. Denn die Devitalisierung war, im Verhältnis zu der nur mäßigen Höhe der Quotienten, überwiegend ausgedehnt. Ein Zusammenhang mit Befunden erscheint möglich, nach denen sich die Nekrosen anfänglich auf einen großen Teil des Kopfes ausdehnen (23).

Der Prozentsatz histologisch vitaler Kopfpräparate nach Schenkelhalsfrakturen liegt zwischen 4 % (AMANN und KAUFMANN 1968) und 34 % (CATTO 1965). Die drei vitalen Präparate unserer Untersuchung ergeben, bezogen auf die Gesamtzahl, ca. 16 %.

4. Ergebnisse der Röntgenkontrollen

Klinisch-röntgenologisch werden verschiedene Verlaufstypen der Femurkopfnekrose unterschieden (LANGE 1951, JANTZEN 1959).

Man sieht einmal einen raschen Verlauf mit Zerfall eines großen Teiles des Kopfes; schon im Laufe eines Jahres sind schwerste Veränderungen vor-

handen (Frühnekrose). Hier ist die Gefäßversorgung total unterbrochen, der Kopf wird aufgelöst und resorbiert (93, 61, 66, 73). BESSLER (1969) weist darauf hin, daß Totalnekrosen relativ selten sind, SCHMORL (1924) sah unter 34 Fällen nur einmal eine Totalnekrose. Immerhin weisen von 48 Fällen AMANN-KAUFMANNs (1968) 30 Fälle Nekrosen auf, die die Hälfte des Kopfes überschritten. Zu ähnlichen Ergebnissen kam FELSSENREICH (1938-40).

Die häufigste Verlaufsform der Nekrose erstreckt sich langsam über Jahre. Der Zeitraum beträgt zwei bis drei Jahre, manchmal noch länger (51, 1). Es sind meist partielle Nekrosen, der häufigste Sitz ist der obere äußere Quadrant des Kopfes (65, 60, 36).

Zu diesen Spätnekrosen gehört noch eine dritte Verlaufsform; es sind Spätveränderungen von der Art einer Coxarthrose mit vakuolenförmigen Aufhellungen am Kopfpol und deformierenden Randwucherungen (65, 11). HERZOG (1962) konnte den experimentellen Beweis erbringen, daß diese Spätveränderungen unmittelbar auf traumatischen Gefäßverletzungen beruhen.

Entsprechend den komplexen posttraumatischen, primären und sekundären Vitalitätsstörungen ist auch der weitere Verlauf, das "Schicksal des nekrotischen Femurkopfes" (34). Röntgenbilder können nur unvollkommen und relativ spät über Art und Ausmaß der Geschehnisse, d.h. fortschreitende Nekrose, Stillstand oder Reparatur, informieren.

In der frühen Verlaufsphase ist röntgenologisch keine Strukturveränderung erkennbar. Es kommen ja nur die kalkhaltigen Bestandteile zur Darstellung, so daß eine Aussage über die Vitalität nur indirekt und im späteren Verlaufsstadium möglich ist. Nur Veränderungen im Bereich einer großen Anzahl von Trabekeln, sei es infolge von Umbauvorgängen oder aufgrund von Kompression, ist erkennbar. Gerade diese unveränderte Struktur und Dichte gewinnt jedoch an Bedeutung, wenn die Umgebung des Fragmentes osteoporotische Veränderungen aufweist, die als relative Stoff-

wechselforgänge lebenden Gewebes infolge Inaktivität (6, 100) oder beginnender reparativer Vorgänge (10) zu deuten sind. Diese relative Verdichtung oder scheinbare Sklerose (10) gilt als Frühsymptom der Nekrose, ist jedoch keineswegs immer erkennbar, worauf besonders PHEMISTER (1930) hinweist. Nur bei sich ausbildender Pseudarthrose, wenn nicht belastet werden kann, ist der Resorptionssaum des Frakturgebietes regelmäßig erkennbar. Bei folgender Callusbildung, die bereits nach neun bis vierzehn Tagen (44) einsetzt, d. h. bei stabilen, genagelten Frakturen, bietet das Röntgenbild oft keinerlei Anhalt infolge Knochenneubildung im Frakturgebiet. Das gleiche gilt bei Frühmobilisation des Patienten (83, 30) infolge ausbleibender Inaktivitätsdystrophie und Zusammensinterung der Frakturresorptionssäume nach der Belastung (78, 44). Das beschriebene Frühsymptom ist frühestens zwei bis drei Monaten nach dem Trauma sichtbar.

Von unseren Untersuchungen waren 18 Röntgen-Nachkontrollen auswertbar, da die Zeit der Verlaufskontrollen von 8 Monaten, bis auf eine Ausnahme, nicht unterschritten wurde. Hierzu gehörten 13 Schenkelhalsfrakturen und 5 pertrochantere Frakturen.

Bei den 18 Kontrollen fanden sich 9 Patienten mit nachweisbarer Kopfnekrose. In allen 9 Fällen handelte es sich um Schenkelhalsfrakturen. (Tabelle 4).

Relative Verdichtungen waren bei 8 Patienten erkennbar. Die Tabelle gibt die Zeiträume nach der Fraktur an, in denen die Veränderung erstmals deutlich sichtbar wurde. Sie liegen zwischen 1 1/2 und 9 Monaten, überwiegend zwischen dem 2. - 4. Monat nach der Fraktur.

Nur in drei Fällen (3, 15, 25) war eine Resorptionszone nachweisbar, häufiger waren Umbauvorgänge der Umgebung mit Verdichtungsarealen, vorwiegend im Kopf-Basisbereich, Ursache der Erkennbarkeit der relativen Verdichtungen.

Die Zonen der relativen Verdichtungen ließen sich m. E. lokalisieren; in 5 Fällen (3, 15, 25, 33, 45) betrafen sie den cranialen Kopfquadranten,

Fall Nr.	Frühsymptome		Umbau		Einbrüche		Histol. - Bef.	Quotient
	Relat. Verdicht.	Resorp. Zone,	der Verd. Zone	der Umgebung	Kopfbasis	Kalotte		
1	1 1/2 M Kalotte	Ø	2-4 1/2 M	1 1/2-4 1/2 M	4 1/2 M	Ø	Kopf 4 1/2 M+++	5, 34
3	2 1/2 M cran. Kopfquadr.	2 M	Ø	10 T-2 1/2 M Basis 18 M caud. Kopf 12-24 M	3 M	18 M		6, 00
15	4 M cran. Kopfquadr.	1-2 M	Ø	3-16 M Basis 9-36 M Basis caud. Kopf	4 M	13-24 M	Stanze 6 T++ Kopf 18 M++++	9, 48
17	3 M Kalotte	Ø	3-16 M Kopf	16 M	Ø	Ø		4, 41
25	9 M cran. Kopfquadr.	3 1/2-9 M	Ø	Ø	Ø	29-35 M		6, 28
32	3 1/2 M Kalotte	Ø	15-29 M Kalotte	5-29 M	Ø	Ø		3, 78
33	8 M cran. Kopfquadr.	Ø	Ø	8 M	Ø	Ø		6, 18
45	2 M cran. Kopfquadr.	Ø	Ø	1 M (+) 21 M+++	Ø	21 M	Stanze 3 T+	1, 9
41	Ø	Ø	4-27 M cran. Kopfquadr.	2-27 M	9 M	Ø	Stanze 3 T+	2, 86

Tab. 4: Röntgenbefunde bei 9 Kopfnekrosen
Quotienten und histologische Befunde zum Vergleich

(+) vereinzelt
+ partiell
++ ausgedehnt
+++ subtotal
++++ total

den häufigsten Sitz von Nekrosen. Auffallend ist, daß in allen 5 Fällen diese Verdichtungsbezirke bei Verlaufskontrollen keinerlei Strukturveränderungen aufwiesen, im Gegensatz zu den z. T. hochgradigen Umbauvorgängen der Umgebung. 4 der Hüftköpfe (Fall 3, 15, 25, 45) zeigten im weiteren Verlauf Einbrüche dieser Kopfquadranten. Der 5. Fall (33) konnte nur über 8 Monate hin verfolgt werden.

Bei 3 anderen Fällen (1, 17, 32) war die Verdichtung, nicht so umschrieben, im Bereich der gesamten Kalotte. Hier waren im weiteren Verlauf Zeichen von Umbau erkennbar, die bei 2 Fällen (1, 17) schon nach 2 bzw. 3 Monaten deutlich nachweisbar waren. Beide Köpfe zeigten nach Exstirpation histologisch ausgedehnte Nekrosen.

Bei zwei weiteren Fällen (32, 41) erfolgte der Umbau dagegen langsam, über 1 - 3 Jahre. Ebenso verhielten sich die meisten Umbauvorgänge der Umgebung von Verdichtungsbezirken der untersuchten Fälle.

In zeitlicher, wie in formaler Hinsicht entspricht dieser röntgenologisch erkennbare Umbau der disharmonisch verlaufenden 2. Phase der histologischen Befunde (GRAF 1944) und klinisch-röntgenologisch der häufigsten, langsam verlaufenden Form der sogenannten "Nekrose". Ältere Autoren waren der Meinung, daß sie sich über 2 - 3 Jahre erstreckt (LANGE 1951). Es sind jedoch Verläufe über 5 oder sogar 10 Jahre beobachtet worden (1).

Der Vielfalt der nebeneinander ablaufenden morphologisch erkennbaren Vorgänge entspricht das bunte, wechselnde röntgenologische Bild: Nicht oder noch nicht mineralisierte Bezirke ergeben Aufhellungszonen (10, 37), die schon nach etwa 2 - 3 Monaten beobachtet werden können. Sie sind meist von zystischer Form, offenbar weil die Resorption bzw. Bindegewebsbildung von mehreren Seiten aus der lebenden Umgebung heraus erfolgt.

Verdichtungszoneen sind vieldeutig (10). Abgesehen von der relativen Verdichtung größerer Nekrosen, die ihre ursprüngliche Trabekelstruktur, und damit Dichte, nicht verändern können, ergeben sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

1. Reparative Vorgänge führen zu einer Anlagerung von Mineralien (56) oder neuer Knochenschichten (10) an abgestorbene Trabekel. Es resultieren eine Verbreiterung und Verplumpung der Trabekelstruktur (82, 83, 56, 10, 44). Hinzu kommt die von den meisten Autoren beschriebene Neubildung von ungerichtetem, bindegewebigen Knochen. Beide Vorgänge ergeben als Summation (56) eine effektive Zunahme der Knochendichte unter dem Bild der Hypersklerose. Auf eine weitere Möglichkeit der Dichtezunahme weist BESSLER(1969)hin: die lokale Bildung von Kalkseifen. Voraussetzung dürfte auch hierbei die Vitalität der Umgebung mit Heterolyse des Markfettes sein, damit es zur Bildung von Fettsäuren kommt.
2. Eine andere Ursache röntgenologischer Verdichtungen ist mechanisch bedingt. Im Zuge der Mobilisation des Patienten können sich nach Belastung Verdichtungen und Deformierungen zeigen. Diese Veränderungen wurden von den früheren Autoren als Spätnekrose bezeichnet. Schon AXHAUSEN (1922) konnte jedoch nachweisen, daß es sich um einen Späteinbruch während der Reparationsphase handelt, da die Resorption stärker als die Apposition sei. Der Knochen sei daher minderwertig geblieben und der funktionellen Belastung nicht gewachsen. Dies trifft für Gebiete zu, die revaskularisiert werden, wie dies auch TRUETA(1968)betont. Die Ausdehnung des Einbruches kann zwischen einer Abplattung der Kalotte (91), größeren Segmenten und dem Zusammenbruch fast des ganzen Kopfes mit Fragmentation in einzelne Stücke schwanken. Auch die Verkürzung des Schenkelhalses, die sogen. Wanderpseudarthrose (12), ist eine pathologische Fraktur medial des ursprünglichen Frakturspaltes an der Grenze zwischen Nekrose und neugebildetem Knochen.

Die häufigsten Einbrüche finden sich im Bereich des oberen lateralen Quadranten, der die Hauptbelastung des Kopfes trägt (60). Insbesondere innerhalb dieses Quadranten ist jedoch noch

eine andere Form des Einbruches beobachtet worden, die eigentlich als ein "Einsinken" bezeichnet werden muß (44, 91). Es handelt sich um ein nicht vaskularisiertes, größeres Segment, meist im Bereich des cranialen Kopfquadranten. Solch ein nekrotischer Teil kann nicht brechen, er ist steinhart (44). Der locus minoris resistentiae ist die Umbau- bzw. Demarkationszone, die lange Zeit bestehen bleiben kann, da hier Organisationsvorgänge stark verlangsamt ablaufen, bzw. völlig sistieren können (82, 44). Die Nekrose sinkt bei Belastung in die Umbauzone ein und kann hier langsam organisiert werden (44).

TRUEETA (1968) weist darauf hin, daß es im Zuge dieser überwiegend im lateralen Kopfquadranten stattfindenden Späteinbrüche wiederum zu einer Schädigung der lateralen Epiphysengefäße kommt; die Folgen sind erneute Nekrosen. In diesem Zusammenhang wählt er bewußt die alte Bezeichnung Spätnekrose, die sich als Folge des Späteinbruches entwickelt.

Auch BESSLER (1961/69) konnte aufgrund autoradiographischer Befunde, welche über die Blutversorgung bzw. über die osteogenetische Aktivität orientieren, feststellen, daß während des Umbaues immer wieder ischämische Schübe wellenförmig ablaufen, gefolgt von reparatorischen Vorgängen. Letztere weisen dann eine besonders hohe Sr - Affinität auf (37).

Unter unseren Kopfnekrosen fanden sich 4 Fälle mit Einbrüchen von Kalottenbezirken. Jedesmal handelte es sich um den kranialen Kopf-Quadranten, der im Laufe der Beobachtungszeit keine Strukturveränderungen aufgewiesen hatte. Die Einbrüche wurden nach 13 bzw. 17 bzw. 21 bzw. 29 Monaten gesehen. Bei zwei Fällen konnte der weitere Verlauf bis zu 24 bzw. 35 Monaten verfolgt werden; es ergab sich bei beiden ein fortschreitendes, zuletzt völliges Einsinken des Segmentes in den Kopf, möglicherweise eine Folge weiterer Nekrosen des Bruchbettes infolge Ge-

fäßschädigung durch den Einbruch (10, 97).

Übereinstimmung mit den Aktivitätsquotienten ergab sich in der Gruppe der 9 Kontrollen mit negativem Röntgenbefund in 8 Fällen.

Eine Kontrolle nach 33 Monaten ergab bei deutlich erhöhtem Quotienten eindeutig einen erhaltenen Kopf.

Auch in der Gruppe der 9 Kontrollen mit Kopfnekrosen waren deutlich erhöhte Quotienten nur in 8 Fällen festgestellt worden, ein Quotient ist als grenzwertig zu bezeichnen.

7 histologische Untersuchungen stimmten in allen Fällen mit den Röntgenergebnissen überein, wenn die unterschiedlichen Entnahmezeiten nach dem Frakturereignis berücksichtigt werden. Hierzu gehören auch die beiden Fälle mit abweichendem Ergebnis der Aktivitätsmessung.

2 Fälle (1 und 17) ließen deutlich erkennen, daß pathologisch-anatomische Veränderungen wesentlich ausgedehnter sein können, als der Röntgenbefund vermuten läßt (93, 60, 1).

5. Vergleich der Quotienten mit den histologischen und röntgenologischen Kontrollergebnissen

Die gefundenen Relationen zwischen der Höhe der Aktivitätsquotienten und den Kontrollergebnissen sollen nun in einer Übersicht dargestellt werden. Dies dient vor allem zur Klärung der Frage, in welchen Grenzen erhöhte Quotienten Maßstäbe zur Feststellung einer Durchblutungsstörung sind. Es zeigt sich, daß hierbei eine Gruppeneinteilung möglich ist: Von den insgesamt 30 nachkontrollierten Patienten lag der Quotient in 9 Fällen in Grenzen zwischen 1,0 bis 1,8, entsprechend dem ermittelten Bereich der Normalquotienten. Diese Patienten wurden in die erste Gruppe eingereiht. Es handelte sich um 5 pertrochantäre Frakturen und um 4 Schenkelhalsfrakturen. Zu dieser Gruppe gehört außerdem eine Patientin, deren Quotient eine grenzwertige Höhe von 1,86 aufwies.

Die Vergleichsergebnisse der 5 pertrochantären Frakturen sind in Tab. 2, Seite 38 zusammengestellt.

Tabelle 5 zeigt die Vergleichsergebnisse der 5 Schenkelhalsfrakturen. Hiervon lagen die Quotienten von 4 Patienten (Fall 5, 12, 31, 34) innerhalb der Grenzen der Normalquotienten. Die Kontrolluntersuchungen erbrachten keinen Nekrosenachweis.

Der Quotient der 5. Patientin (Fall 45) war grenzwertig. Hier ergab die Kontrolluntersuchung sowohl des histologischen Präparates (s. auch S.46, Tabelle 3) wie der Röntgenbefund (s. auch Tabelle 4) eine Kopfnekrose.

GRUPPE I
Quotienten 1 - 1,8

Fall	Alter	Quotient	Fraktur	Op. nach	Art	Histologie	Röntgen
5	83	1,43	Subcap.	7 Tg.	Nagel	Stanze: Keine Nekrose	-
12	73	1,39	Transc.	5 Tg.	Nagel	-	15 Mon.: Unauffällige Kopfstruktur
31	69	1,12	Transc.	21 Tg.	Nagel	-	19 Mon.: Unauffällige Kopfstruktur
34	83	1,58	Subcap.	2 Tg.	Nagel	-	23 Mon.: Unauffällige Kopfstruktur
45	46	1,86	Subcap.	3 Tg.	Nagel	Stanze: Partielle Mark- u. Spongiosa- nekrose	21 Mon.: Einbruch cran. Kopfquadrant. Übriger Kopf: Ausgedehnter Umbau.

Tab. 5: Vergleichsgruppe I. Quotienten 1 - 1,8

Die Aktivitätsmessungen der 20 anderen Patienten hatten erhöhte Quotienten, die mehr oder weniger deutlich außerhalb des Normalbereiches lagen. Die histologischen und röntgenologischen Befunde ergaben hier, daß sich 10 Fälle mit erhöhten Quotienten ab 4,0 in eine weitere Gruppe III einordnen ließen.

Tabelle 6 zeigt die Übersicht der Ergebnisse (histologische Befunde s. Tabelle 3, Röntgenbefunde s. Tabelle 4).

Tab. 6: Vergleichsgruppe III. Quotienten 4,0 - 16,2

Fall	Alter	Quotient	Fraktur	Op. nach	Art	Histologie	Röntgen
22	53	12,12	Subc.	1 Tg.	Nagel	kein Nekrose-nachweis	-
3	84	6,00	Subcap.	7 Tg.	Nagel	-	2 - 18 Mon.: Einbruch cran. Quadrant 18 Mon: Ausgedehnter Umbau
17	53	4,41	Basoc.	4 Tg: 18 M.:	Nagel Proth.	Kopf: Totale reaktionslose Nekrose	3 - 16 Mon.: Umbau der cranialen Kopfhälfte
15	70	9,48 4,99	Subcap.	1: 6 Tg. 2:9Mon.	Nagel	Stanze: Partielle Mark- u. Spongiosane-krose.	13 - 24 Mon: Ausgedehnter Umbau. -Einbruch cran. quadrant.
25	76	6,28	Subcap.	5 Tg.	Nagel	-	29 - 35 Mon.: Einbruch cran. Quadrant. Ausgedehnter Kopfbau.
42	82	4,78	Subcap.	11 Tg.	Prothese	Reaktionslose ausgedehnte Mark- u. Spongiosane-krose	-
10	70	12,04	Transc.	13 Tg.	Prothese	Reaktionslose subtotale Marknekrose	-
36	79	16,19	Subcap.	22 Tg.	Prothese	Reaktionslose ausgedehnte Mark- u. Spongiosane-krose	-
33	69	6,18	Subcap.	4 Tg.	Nagel	-	Nach 8 Mon.: Relative Verdichtung cran. Kopfquadrant. Umbau der Umgebung.
1	57	5,34	Subcap.	6 Tg. 41/2 Mon.	Nagel Prothese	Reaktionslose subtotale Spongiosane-krose. Ausgedehnte Marknekrose	4 1/2 Mon.: Mäßiggrad. Umbau des unteren Quadr.

9 Fälle waren auswertbar. Die Kontrollergebnisse sind hier deutlich: In allen Fällen waren Zeichen einer Kopfnekrose nachweisbar. Eine Patientin (Fall 22) verstarb einige Wochen nach dem Unfall. Die Nagelung der Fraktur war schon am ersten Tag nach dem Bruch erfolgt. Die dabei erhaltene Knochenstanze war jedoch nicht auswertbar, da morphologisch ein Nekrosenachweis nach den hier vorliegenden Untersuchungen erst drei Tage nach der Fraktur möglich ist.

Langfristige Röntgenkontrollen konnten bei 4 Patienten erfolgen. Bei 2 Patienten (Fall 3, 17) hatte sich bereits nach 16 bzw. 18 Monaten eine ausgeprägte Nekrose mit weitgehendem Zusammenbruch des Kopfes entwickelt. Einer der Köpfe (Fall 17) wurde exstirpiert und ergab histologisch eine totale, reaktionslose Nekrose. Der Quotient hatte 4,4 betragen. Bei der anderen Patientin betrug der Quotient 6,0.

Ausgeprägte röntgenologische Nekrosezeichen waren auch bei 2 weiteren Patienten (Fall 15, 25) nach 12 bzw. 13 Monaten im Bereich der Kopfkalotte nachweisbar. Nach 24 Monaten sah man bei der einen Patientin (Fall 15), deren Quotient 9,5 betragen hatte, einen fast vollständigen Zusammenbruch des Kopfes. Hier war nach 9 Monaten eine zweite Nagelung vorgenommen worden, da eine Verkürzung des Schenkelhalses die Anwendung eines kürzeren Nagels erfordert hatte. Eine erneute Vitalitätsprüfung lag mit einem Quotienten von 4,9 wiederum im pathologischen Bereich. Die zwei Tage nach dem Unfall entnommene Stanze hatte eine partielle, reaktionslose Marknekrose und Nekrobiosen der Osteozyten ergeben. Bei der anderen Patientin (Fall 25) war nach 28 Monaten ein Späteinbruch des cranialen Kopfquadranten erfolgt, nach 35 Monaten war ein ausgeprägter Umbau des Kopfes mit völligem Einsinken des Fragmentes in den Kopf erkennbar. Der Quotient betrug 6,3.

Bei 3 Patienten (Fall 42, 10, 36) war 11 bzw. 13 bzw. 22 Tage nach dem Unfall ein Prothesenersatz des Kopfes erfolgt. Die histologische Untersuchung ergab in allen Fällen ausgedehnte Marknekrosen sowie in 2 Fällen eine ausgedehnte Nekrobiose der Osteozyten. Vitale Umgebungsreaktionen konnten nicht festgestellt werden. Unterschiedliche Bilder erga-

ben hier die Frakturbereiche: Bei einer Patientin (Fall 36) mit besonders hohem Quotienten von 16,2 lag eine ausgedehnte, reaktionslose Basisnekrose vor. Bei den beiden anderen Patienten (Fall 10, 42) mit Quotienten von 12,4 bzw. 4,8 waren dagegen vitale, reparative Vorgänge im Frakturbereich nachweisbar.

Bei 2 weiteren Patienten konnten nur relativ kurzfristige Röntgenkontrollen erhalten werden. Einer der Patienten (Fall 33) verstarb nach 8 Monaten. Die letzten Röntgenkontrollen zeigten eine relative Verdichtung im cranialen Kopfdrittel und Umbauzeichen der Umgebung. Der Quotient betrug 6,2. Bei der anderen Patientin (Fall 1) wurde der Kopf nach 4 1/2 Monaten exstirpiert. Die letzten Röntgenkontrollen wiesen Verdichtungen und Aufhellungszonen nur im cranialen Kopfpol auf. Demgegenüber ergab die histologische Untersuchung subtotal eine fehlende Kernfärbbarkeit der Osteozyten und ausgedehnte Marknekrosen. Eine vitale Reaktion fehlte völlig, auch im Bereich der Frakturzone der teilnekrotischen Basis. Der Quotient betrug 5,3.

In eine mittlere Gruppe II wurden die verbleibenden 10 Patienten eingeordnet, deren Quotienten zwischen 1,9 und 3,9 lagen (Tab. 7). 9 Kontrolluntersuchungen waren auswertbar, da bei einem schon am ersten Tag nach der Fraktur entfernten, histologisch untersuchten Kopf kein Nekrosenachweis zu erwarten war (Fall 46).

Bei nur 2 Patienten ergaben sich Veränderungen, die für eine ausgedehnte Vitalitätsstörung sprachen. Es handelte sich um zwei nach Exstirpation auf Großflächenschnitten untersuchte Femurköpfe. Das Präparat der einen Patientin (Fall 48) ergab bereits 7 Tage nach dem Unfall eine subtotale Minderung der Färbbarkeit der Osteozyten sowie ausgedehnte Marknekrosen bei nur geringer vitaler Umgebungsreaktion. Ausgedehnte Nekrobiosen der Osteozyten waren histologisch auch im Kopf der anderen Patientin (Fall 44) nach 14 Tagen nachweisbar. Nur im Frakturbereich war eine deutliche Resorption der dort vorhandenen Mark- und Spongiosanekrosen erkennbar. Der Quotient betrug hier 2,6.

Fall	Alter	Quotient	Fraktur	Op. nach	Art	Histologie	Röntgen
46	75	2, 15	Subcap.	1 Tg.	Prothese	keine Nekrose nachweisbar	-
48	84	2, 17	Transc.	7 Tg.	Prothese	Kopf: Reaktionslose subtotale Spongiosa- u. Marknekrose	-
44	66	2, 59	Subcap.	14 Tg.	Prothese	Kopf: Reaktionslose ausgedehnte Spongiosane-krose	-
24	88	2, 27	Subcap.	13 Tg.	Nagel	Stanze: Ausgedehnte Marknekrose Vitale Reakt.	-
41	57	2, 86	Subcap.	3 Tg.	Nagel	Stanze: Partielle Spongiosane-krose.	2 - 27 Mon: Umbau im cranialen Quadranten.
32	74	3, 78	Transc.	8 Tg.	Nagel		15 - 29 Mon: Umbau der Kalotte.
28	72	1, 94	Subcap.	3 Tg.	Nagel	Kopf: (nach 2 1/2 Mon., Sektion) Umschriebene vit. Reakt.: Resorption u. Fibrose.	-
43	82	3, 67	Subcap.	8 Tg. 2 Mon.	Nagel Proth.	Kopf: Umschriebene vit. Reaktion: Resorpt. u. Fibr.	-
47	61	2, 26	Transc.	3 Tg.	Nagel	Stanze: Keine Nekrose.	-
16	93	3, 77	Basoc.	3 Tg.	Nagel	Stanze: Keine Nekrose	33 Mon: Unauffällige Struktur.

Tab. 7: Vergleichsgruppe II. Quotienten 1, 9 - 3, 9

Bei einer weiteren Patientin (Fall 24) wurde 13 Tage nach dem Unfall ein Knochenzylinder entnommen. Der Aktivitätsquotient hatte 2,3 betragen. Histologisch ergab sich hier eine ausgedehnte Marknekrose, daneben fand sich aber eine deutliche vitale Umgebungsreaktion mit Resorption und beginnender Fibrose. Dies spricht im Gegensatz zu den Befunden der ersten beiden Patienten für eine partielle Vitalitätsstörung.

Auch die Kontrollbefunde der folgenden Fälle sprechen dafür, daß nur eine teilweise Durchblutungsstörung vorgelegen hatte: Ein 3 Tage nach der Fraktur entnommener Knochenzylinder eines Patienten (Fall 41) hatte partiell Osteozytennekrosen, eine relativ geringe Marknekrose und Fibrose ergeben. Röntgenkontrollen bis zu 27 Monaten zeigten einen Umbau, der auf den cranialen Kopfpol beschränkt war. Der Quotient hatte 2,9 betragen. Einen ähnlichen, auf die Kalotte beschränkten Umbau zeigten langfristige Röntgenkontrollen eines weiteren Falles (Fall 32). Der Quotient betrug 3,8.

Zwei histologische Ergebnisse sind ebenfalls als Folge einer nur teilweisen Durchblutungsstörung zu deuten: Es handelt sich um die Hüftköpfe von 2 Patienten (Fall 28, 43), die 2 bzw. 2 1/2 Monate nach der Fraktur entfernt und untersucht wurden. Beide Präparate ergaben den Nachweis einer partiellen Resorption und partiellen Fibrose, daneben nur geringe Zellnekrosen im Mark. Diese umschriebenen reparativen Vorgänge sind nach HERZOG als Folgen herdförmiger Nekrosen zu deuten. Die ermittelten Quotienten betrugen 1,9 bzw. 3,7.

Keinen Nekrosennachweis erbrachten schließlich die Kontrollen zweier weiterer Patienten (Fall 47, 16). Die histologischen Präparate hatten in beiden Fällen nur eine diffuse, geringe Verminderung der Zellfärbbarkeit erbracht, die ohne weitere morphologische Kriterien keinen Nachweis einer Vitalitätsstörung darstellt. Die Röntgenkontrolle des einen Falles (Fall 16) 33 Monate nach der Fraktur bestätigte den histologischen Befund, sie ergab eine unauffällige Kopfstruktur. Die Quotienten hatten 2,3 bzw. 3,8 betragen.

Insgesamt ergab der Vergleich der Aktivitätsquotienten mit röntgenologischen und histologischen Kontrolluntersuchungen bei 28 Patienten in

der Gruppe I der Quotienten (1,0 - 1,8) Übereinstimmung in 9 von 10 Fällen. Ein Patient mit grenzwertigem Quotienten entwickelte eine ausgedehnte Nekrose. In der mittleren Gruppe II mit Aktivitätsquotienten zwischen 1,9 und 3,9 ergaben 2 von 9 Fällen keinen Nekrosenachweis. Die Gruppe III der 9 Patienten mit stark erhöhten Quotienten (4,0 bis 16,2) ergab in allen Fällen Übereinstimmung mit den Kontrollbefunden.

6. Ergebnis vergleichender Messungen zwischen nicht zentrifugierten und zentrifugierten Punktaten

Diese Untersuchungen wurden bei 10 Patienten durchgeführt. Es sollte festgestellt werden, in welchem Maße aus nicht zentrifugierten Punktaten ermittelte Quotienten den Quotienten der Zentrifugate entsprechen. Denn wenn nicht zentrifugiert und pipettiert wurde, ergab sich für die Quotientenermittlung eine Zeitersparnis von ca. 10 Minuten, für eine intraoperativ durchzuführende Methode ein wichtiger Zeitgewinn.

Jeweils genau gleiche Mengen von nicht zentrifugierten Venenpunktaten sowie von Punktaten aus den Hüftköpfen und Trochanterbereichen wurden mit den entsprechenden Zentrifugaten der drei Proben verglichen. Erwartungsgemäß waren alle Impulsraten der nicht zentrifugierten Proben niedriger als die entsprechenden Zentrifugate, da Jod-131 Serumalbumin keine Affinität zu zelligen Bestandteilen des Körpers besitzt.

Tabelle 8 zeigt, daß im venösen Vollblut durchschnittlich 62 % der Impulsraten der entsprechenden Plasmaproben vorhanden waren. Der Differenzbetrag dieses Wertes (38 %) liegt innerhalb der Grenzen des Hämatokrits.

Knochenpunktate bestehen aus einem Gemisch von interstitieller Flüssigkeit, Fett und Blut. Für die nicht zentrifugierten Punktate aus den Hüftköpfen und den Trochanterbereichen ergaben sich durchschnittliche Impulsraten

Vergleichsmessungen zentrifugierter und nicht zentrifugierter Punkte.

Relative Abweichung beim Quotientenvergleich

Impulsraten in nicht zentrifugierten Punktaten, verglichen mit Impulsra- ten der Zentrifugate in %				Blut/Kopfunktat		Quotienten Blut/Trochanterpunktat		
Fall	Blut	Kopf	Trochanter	zentrifugiert	nicht zentrifugiert	relative Abweichung (%)	nicht zentrifugiert	relative Abweichung (%)
1	64	83	48	5,32	4,05	+24	1,23	-25
3	52	69	60	6,00	4,52	+25	1,20	-26
5	42	52	59	1,43	1,16	+19	1,04	-23
7	59	82		4,70	3,36	+29		
8	65	52	58	1,55	1,92	-19	1,34	-10
9	85	63	76	4,94	6,67	-26	2,10	-11
10	62	86	65	12,04	8,73	+27	1,131	+5
11	63	60	60	1,56	1,63	-5	1,36	-6
19	66	52	65	1,37	1,73	-21	1,26	-1
37	63	65	66	7,33	7,07	+4	1,83	+6
Mittel- wert	62,1	66,5	61,9	mittl. relat. Abweichung		±20%	±10%	

Tab. 8

von 66,5 % bzw. 61,9 % der entsprechenden Impulsraten der Plasmaproben.

Der Quotientenvergleich beider Proben zeigte, daß die Quotienten der nicht zentrifugierten Proben teils etwas höher, teils etwas niedriger lagen. Die mittlere relative Abweichung ergab für die Relation der Impulsraten Blutpunktat: Impulsraten Kopfpunktat ca. ± 20 %, für die Relation der Impulsraten Blutpunktat: Impulsraten Trochanterpunktat ca. ± 10 %. Maximal kann die Abweichung etwa 30 % betragen.

Diskussion

Die Wahl der Methode von FORGON und Mitarb. zur klinischen Anwendung war unter zwei Gesichtspunkten erfolgt.

Der erste Punkt betraf die Art der Methode: Sie ist, neben der polarimetrischen Methode von WOODHOUSE (1961), die einzige direkte, d.h. die arterielle Durchblutung messende Untersuchung, die vollständig intraoperativ durchgeführt werden kann. Im Gegensatz zu anderen direkten Methoden, z.B. der Arteriographie oder Clearanceuntersuchungen mit P-32, erfüllt die Methode damit die Forderung von EBERLE (1968), nach der eine Prüfung der Durchblutung des Femurkopfes nur dann sinnvoll erscheint, wenn die Fraktur reponiert ist. Nur nach Reposition werden die aktuellen irreversiblen oder reversiblen Gefäßstörungen erfaßt, die die Entwicklung von Kopfnekrosen oder den Heilungsverlauf mitbestimmen (21). Vor Reposition kann sich dagegen eine vollkommen andere Durchblutungssituation ergeben, wenn infolge Fragmentverschiebungen eine Gefäßkompression oder -torsion (21, 50, 73) vorliegt, oder mit dem Repositionsmanöver zusätzliche Gefäßschäden wie Rupturen, Thrombosen oder Kompressionen infolge Erhöhung des Kapseldruckes (89, 97) gesetzt werden.

Der zweite Gesichtspunkt betraf die klinische Anwendbarkeit der Methode: Für eine während der Operation laufende Untersuchung ist der Zeitaufwand, innerhalb dessen ein Ergebnis erhalten werden kann, ein wichtiges Problem. Die Feststellung von FORGON, nach der der Operateur das Meßergebnis ohne großen Zeitverlust bekommt, bevor er weitere operative Maßnahmen vornimmt, konnte bei der vorliegenden Anwendung der Methode bestätigt werden. Die Untersuchungsdauer betrug vom Erhalt der Proben bis zur Mitteilung des Ergebnisses maximal 20 Minuten. In dieser Zeit ist auch die Verarbeitung der Proben enthalten. Da insbesondere das Zentrifugieren der Proben sowie das Pipettieren der relativ kleinen Mengen des Zentrifugates - es handelt sich um Mengen zwischen 0,2 und 0,8 ml - ca. 10 Minuten Zeit bean-

spruchte, wurde durch ein Vergleich der Meßergebnisse von nicht zentrifugierten und zentrifugierten Proben ermittelt, in welcher Größe Fehler bei der Berechnung der Quotienten entstehen. Es ließ sich anhand von 10 Probenvergleichen feststellen, daß die relative Abweichung durchschnittlich zwischen ± 10 und ± 20 % liegt. Dieser Abweichung muß insbesondere bei relativ niedrigen Quotientenergebnissen Rechnung getragen werden. Die gesamte Untersuchung läßt sich in dieser Weise jedoch auf etwa 10 Minuten verkürzen.

Zur Prüfung der klinischen Anwendbarkeit der Methode gehörte ferner die Untersuchung der Frage, ob pathologische Meßergebnisse überhaupt auf Durchblutungsstörungen zurückzuführen sind, denen ursächlich die Fraktur zugrunde liegt. Mit dieser Frage sind verbunden

1. die gleichmäßige Verteilung des Radionuklids im Blutgefäßsystem des Körpers, auch in der Spongiosa des Knochens,
2. von der Fraktur unabhängige Gefäßfaktoren, die zu Durchblutungsstörungen hätten führen können. Vor allem mußte bei dem überwiegend hohen Lebensalter der Patienten mit Arteriosklerose gerechnet werden.
3. Veränderung der Kreislaufsituation in der Narkose.

Hierzu wurden bei den 37 Schenkelhalsfrakturen außer den Proben aus den Hüftköpfen auch Punktate aus den Trochanterbereichen entnommen. Das war berechtigt, weil Hüftkopf und Trochantermassiv von getrennten Ästen der Arteria femoralis profunda versorgt werden. Die Quotienten ergaben im Durchschnitt eine Höhe von 1,27 (Schwankungsbreite 1,0 - 1,83). Gleiche Ergebnisse erbrachten 12 Kopfpunktate, hiervon 8 nach pertrochanteren Frakturen und 4 nach Schenkelhalsfrakturen, die im einzelnen in Tabelle 9 verzeichnet sind. Bei 9 Fällen konnten Kontrolluntersuchungen erfolgen, die keinen Nekrosenachweis ergaben. Aus den Ergebnissen wurde geschlossen, daß, unter Berücksichtigung der maximalen Schwankungsbreite der Quotienten bis 1,8, diese Werte der Aktivitätsverteilung im Knochen bei ungestörter Durchblutung entsprechen. Das bedeutet für die einzelnen, oben angeführten Punkte:

- Ad 1: Die Verteilung des Jod 131 Serum-Albumin im Körper ist annähernd gleichmäßig, auch in der Spongiosa des Knochens. Es ist darüber hinaus nicht anzunehmen, daß das Punktat nur über die Aktivität der unmittelbaren Umgebung der Punktionsstelle orientiert. In diesem Falle hätten die Schwankungen größer sein müssen. Die geringe mittlere Abweichung von 0,3 bis 0,4 vom Quotienten der venösen Vergleichsproben (gleich 1,0) wird von FORGON als Folge einer Beimischung nicht aktiver, interstitieller Knochenflüssigkeit erklärt.
- Ad 2: Ein Einfluß von der Fraktur unabhängiger Gefäßfaktoren, insbesondere sklerotisch bedingter Durchblutungsstörungen (36) auf die intraspongiose Aktivitätsverteilung, ist nicht anzunehmen. In dieser Hinsicht galten die Quotienten der Trochanterpunktate der 37 Schenkelhalsfrakturen als Kontrolle für die Bewertung der Quotienten der Hüftkopfpunktate.
- Ad 3: Ein Einfluß von kreislaufbedingten Durchblutungsstörungen durch die Narkose wurde nicht festgestellt.

Da die Quotienten der Trochanter- und Kopfpunktate ein ähnliches Ergebnis erbrachten, wurden die Werte zusammen als Normalquotienten bezeichnet. Der Vergleich zu Ergebnissen anderer Autoren (Tabelle 9) zeigt die relativ geringe Schwankungsbreite dieser Quotienten. Dieses Resultat war im Hinblick auf die Anwendbarkeit der Methode - (ihrer Art als direkte, über die arterielle intraossäre Zirkulation orientierende, Untersuchung und der technischen Durchführung mit Modifikation der Originalmethode) - eine gute Voraussetzung für die Bewertung der Hüftkopfpunktate.

Die Ergebnisse der Quotientenberechnung der 37 Hüftkopfpunktate waren zunächst nur in einer Hinsicht bewertbar: Da die gleichzeitig ermittelten Trochanterquotienten im Normalbereich lagen, wurde eine Erhöhung der Kopfquotienten als unmittelbare Folge der Fraktur angesehen.

Autoren	Fallzahl	Quotienten	
		Mittelwerte	Schwankungsbreiten
Arden u. Veall 1953	5	-	1,4 - 3,0
Boyd u. a. 1955	10	2,3	1,7 - 2,9
	12		1,3 - 2,3
Arden 1960	21	-	1,6 - 4,0
Boyd u. a. 1962	14	-	1,7 - 4,7
Forgon u. a. 1966	5	1,8	1,0 - 3,5
Eigene	37	1,27	1,0 - 1,83
	8	1,42	1,05 - 1,60
	4	1,38	1,12 - 1,58

Tab. 9: Autorenvergleich. Quotienten der Normalbereiche

Nachdem bei 28 Patienten histologische und röntgenologische Ergebniskontrollen durchgeführt werden konnten, war eine Einteilung in drei Quotientengruppen möglich (Tabellen 5, 6, 7 sowie Tabelle 2). Gruppe I enthält Fälle, deren Quotienten innerhalb des ermittelten Normalbereiches liegen. In 9 von 10 Fällen ergaben die Kontrolluntersuchungen hier keine Kopfnekrosen. In Gruppe II mit mäßig erhöhten Quotienten fand sich in 2 von 9 Fällen kein Nekrosenachweis, von den 7 mit Nekrose wiesen nur 2 Patienten Zeichen einer ausgedehnten Vitalitätsstörung auf, die anderen 5 Fälle ergaben partielle nekrotische Nekrosemerkmale. In Gruppe III waren die Vitalitätsstörungen weitgehend ausgedehnt.

Hieraus ergab sich einerseits, daß Vitalitätsstörungen in der ersten Gruppe relativ gering ausgeprägt

Irrtumswahrscheinlichkeit in Bezug auf einen Nekrosenachweis am größten. Ähnliche Ergebnisse erbrachten Untersuchungen anderer Autoren (ARDEN 1960, BOYD u.a. 1963, JOHANSSON 1964), Tabelle 10. Abgesehen von der insgesamt höheren Irrtumswahrscheinlichkeit dieser Vergleichsergebnisse ist auch die Abweichung der klinischen Kontrollergebnisse von den Meßergebnissen innerhalb der einzelnen Gruppen höher. Hierfür können mehrere Gründe vorliegen.

Erstens: Methodisch bestehen Unterschiede zu den eigenen Untersuchungen: Die Absorptionsuntersuchungen mit P-32 ergaben keine verlässliche Relation zwischen der applizierten und der im Knochen später vorhandenen Aktivitätsmenge, wie BOYD und Mitarb. 1955 feststellten. Denn die Absorption an den Knochen sei abhängig vom Ionenaustausch des Isotops P-32 gegen das P-31 der Knochenkristalle: Ein unkontrollierbarer, ph-abhängiger Vorgang. Hinzu kommen Fehlerquellen, die in der Meßmethode liegen: Die Aktivitätsmessungen orientieren immer nur über den unmittelbaren Meßbezirk, da schon einige Millimeter Gewebe fast 90 % der Betastrahlen absorbieren.

Der Jod-131-Clearancemethode von JOHANSSON haften ebenfalls methodische Fehlermöglichkeiten an: Die mit einem gewissen Druck in den Femurkopf gespritzte Isotopensubstanz bahnt sich, aufgrund ihrer Inkompressibilität als Flüssigkeit, den Weg des geringsten Widerstandes und kann durch zerrissene Sinusoide (34) oder Bohrlöcher und Risse (94) in den Bruchspalt gelangen, wird von hier abtransportiert und kann bei der präcordialen Aktivitätsmessung fälschlich als Zeichen einer erhaltenen Femurkopfdurchblutung gedeutet werden. Besonders bei frischen Frakturen ist mit zerrissenen Sinusoiden zu rechnen (58, 40). Außerdem ist das Meßergebnis vom Abtransport über die gegenüber Arterien wesentlich "empfindlicheren" Venen abhängig: Bei Frakturen zerreißen Venen nicht nur leichter als Arterien (39, 30), sondern sind auch anfälliger gegen Zerrungen, Torsionen und Kompressionen (50, 94, 73). Hierdurch entstehende Thrombosen können später rekanalisieren (50) und führen daher zunächst zu falsch positiven

Absorptionstest P-32

Arden 1960

Quotienten	0,6 - 2,5		2,6 - 3,5		3,6 - 30		
Klin. Ergebn.	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	
Fälle	23	5	1	3	1	7	Sa. 39
%	82 %	18 %	25 %	75 %	12,5 %	87,5 %	wahrschl Irrtum 17,5 %

Absorptionstest P-32

Boyd u.a. 1963

Quotienten	0,4 - 2,9		3,0 - 5,9		5,9 - 10		
Klin. Ergebn.	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	
Fälle	26	5	13	18	7	26	Sa. 95
%	84 %	16 %	42 %	58 %	21 %	79 %	wahrschl Irrtum 23 %

Clarencetest J-131

Johansson 1964

Quotienten	1 - 3		3 - 7		7		
Klin. Ergebn.	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	
Fälle	40	8	29	17	2	18	Sa. 114
%	83 %	17 %	63 %	37 %	10 %	90 %	wahrschl Irrtum 35 %

Eigene

Quotienten	1,0 - 1,8		1,9 - 3,9		4,0 - 16,2		
Klin. Ergebn.	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	Nekr. Ø	Nekr. +	
Fälle	9	1	2	7	Ø	9	Sa. 28
%	89 %	11 %	28,5 %	71,5 %	0 %	100 %	wahrschl Irrtum 10,7 %

Tab. 10: Ergebnisvergleiche von Quotientengruppen mit klinischen Kontrolluntersuchungen

Zirkulationsmessungen.

Aus dem gleichen Grunde sind diese Fehlermöglichkeiten bei der Methode dieser Arbeit als direkter, arterieller Untersuchung nicht so gravierend beurteilt worden, zumal sie, nach Reposition der Fraktur vorgenommen, der tatsächlichen Situation der Durchblutung gerecht wird. Im Vordergrund stehen vielmehr Fehler bei der Gewinnung der Kopfpunktate, da hierbei Blut aus dem Bruchspalt angesaugt werden kann. Aktivität des Hüftkopfes und Umgebungsaktivität können dadurch vermischt werden, die Aktivität des Punktates würde fälschlich erhöht. Daher dienten alle Modifikationen der Originalmethode dem Zweck, diese Fehlermöglichkeit möglichst klein zu halten. Entsprechende Sicherheitsmaßnahmen waren neben Veränderungen der Punktionsnadel vor allem Röntgenkontrollen während der Punktion, sowie Vergleiche mit dem Trochanterpunktat, dessen Impulsrate, wie besprochen, immer etwas niedriger als die Impulsraten der Blutproben ausfielen. Normale Kopfpunktate zeigten außerdem noch eine etwas geringere Impulsrate gegenüber dem Trochanterpunktat. Ist die Impulsrate des Kopfpunktates höher als die des Trochanterpunktates, ist eine fehlerhafte Punktatgewinnung anzunehmen und das Ergebnis nicht zu verwerten. Dies zeigte sich bei zwei Fällen. Bei stark erniedrigten Impulsraten des Kopfes wirkt sich allerdings eine Aktivitätsbeimengung aus dem Bruchspalt nicht merklich aus: Die Impulsrate wird dann zwar relativ höher ausfallen, d. h. der Quotient wird relativ erniedrigt sein, jedoch trotzdem im pathologischen Bereich bleiben. Auswirkungen sind jedoch bei gering erhöhtem Quotienten zu erwarten. Bei einem der Fälle mit nachgewiesener Kopfnekrose (Fall 45), der einen Quotienten aufwies, der grenzwertig zum Normalen war, könnte ein Fehler bei der Punktion vorgelegen haben.

Während also bei der Methode fehlerhaft erniedrigte Quotienten erhalten werden können, besteht keine Möglichkeit, daß Quotienten fehlerhaft erhöht sind. Es besteht also nicht die Gefahr, daß aufgrund des Untersuchungsergebnisses ein alloplastischer Kopsersatz irrtümlich

erfolgt. Auf diesen schwerwiegenden Fehler machte BÖHLER (1968) aufmerksam, der bei den zum Vergleich herangezogenen Methoden sowie arteriographischen und venographischen Untersuchungen gegeben ist, da hier fehlerhaft positive Ergebnisse erhalten werden können.

Ein weiterer Grund für die vergleichsweise höhere Diskordanz der Vergleichsergebnisse könnte in der Art der Kontrolluntersuchungen liegen: Während die Vergleichsautoren ausschließlich Röntgenkontrollen als Beweis für oder gegen eine Kopfnekrose hinzuzogen, wurden in der vorliegenden Arbeit bewußt auch histologische Befunde verwendet. Röntgenologisch sind Nekrosen jedoch nur zu etwa einem Drittel nachweisbar (44), histologisch liegt der Nachweis dagegen zwischen 66 und 96 % (23, 1, 2). Außerdem sind anatomische Veränderungen meist wesentlich ausgedehnter, als auf dem Röntgenbild erkennbar (38, 43).

Der dritte Grund betrifft den Zeitfaktor, in der klinische Kontrolluntersuchungen durchgeführt und als Vergleich zu Aktivitätsmessungen herangezogen werden. Röntgenkontrollen müssen notwendigerweise zu einem möglichst späten Zeitpunkt angefertigt werden, wenn sie ein verwertbares Ergebnis erbringen sollen. Es erhebt sich die Frage, in welcher Hinsicht dann ein Vergleich zu den Meßergebnissen gegeben ist. Denn diese Röntgenkontrollen zeigen den Verlauf, die Folgen einer Durchblutungsstörung. Die Meßergebnisse dagegen sind vor allem Ausdruck der aktuellen Durchblutungsstörung zum Zeitpunkt der Messung. Daher ist eine Konkordanz zwischen Meß- und Kontrollergebnis nicht als absolut zu betrachten.

Schon histologische Untersuchungen haben gezeigt (23), daß sich die Nekrose zunächst auf einem großen Teil des Kopfes ausdehnt, reparative Vorgänge aber später die Nekrosebezirke verkleinern. Wenn sich hier eine Vergleichsdiskrepanz zu Meßergebnissen ergeben würde, ist die Diskordanz bei Röntgenkontrollen nach Monaten sicher noch größer.

Denn physiologische und mechanische Faktoren wirken sich wechselseitig, günstig oder ungünstig, auf den Heilungsverlauf aus: Gefäßneubildungen beeinflussen Revitalisierung und Reparatation, über deren

Ausmaß jedoch unterschiedliche Auffassungen bestehen. HIPPEL (1971) weist auf zahlreiche arkadenförmige Anastomosen zwischen den Rami nutritii capitis proximales hin, die unter Umständen eine gute Kompensationsmöglichkeit bieten. Er ist jedoch von der Möglichkeit einer Revaskularisation und damit Reossifikation größerer Gebiete weniger überzeugt, insbesondere da nach den Feststellungen von TRUETA eine Revaskularisation nur über eine Distanz von 17 mm möglich ist. Entgegen den Feststellungen anderer Autoren (50, 90) erfolgt nach PHEMISTER (1949) und EBERLE (1968) eine Revaskularisation auch vom Ligamentum teres sowie von der Bruchfläche her. Die Vermutung über Kompensationsmöglichkeiten von der Bruchfläche her gründen sich auf die Feststellung, daß die Rate der Kopfnekrosen bei Pseudarthrosen erhöht ist (MAATZ 1952). Nach GRAF (1964) sind Pseudarthrosen oft Folgen eines frühen und lebhaften Umbaus im Frakturgebiet, der zur Lösung der verkeilten Fragmente und Einbrüchen mit Schenkelhalsverkürzung führt. Es ist denkbar, daß sich dann im Frakturbereich ein ähnlicher Vorgang abspielt, wie er als Folge von Späteinbrüchen des Kopfes beschrieben wird, nämlich kompressionsbedingte, wellenförmig ablaufende Spätnekrosen (97). Hierbei wirken sich mechanische Faktoren, die Belastung des frakturierten Beines, gegen reparative Vorgänge ungünstig aus. Voraussetzung ist jedoch ein fortgeschrittener Umbau als Folge einer ausgedehnten Durchblutungsstörung.

Während diese Veränderungen bei Spätkontrollen erfaßbar sind und damit eine Voraussetzung für eine Konkordanz mit dem Meßergebnis gegeben ist, ist der Nachweis kleinerer Nekrosebezirke nicht unbedingt zu erwarten. Ein umschriebener Umbau braucht röntgenologisch nicht erkennbar zu sein, bzw. kleinste Nekrosebezirke sind inzwischen organisiert worden (1). Unter diesem Aspekt ist die mittlere Quotientengruppe zu bewerten, in der sich bei der eigenen Untersuchung und den Vergleichsautoren die höchste Diskrepanz ergeben hat. ARDEN (1960) nannte diese Gruppe mit Recht "doubtful".

Die eigenen Untersuchungen ergaben hier überwiegend umschriebene

Zeichen einer Vitalitätsstörung.

Zusammenfassend läßt sich mit besonderer Berücksichtigung der Untersuchungen dieser Arbeit sagen, daß sich infolge der Möglichkeit methodischer Fehler und der in formaler und zeitlicher Hinsicht diskutierten histologischen und röntgenologischen Kontrollen begründet Diskrepanzen zwischen Meßergebnis und diesen Verlaufskontrollen ergeben müssen, vorwiegend in der mittleren Gruppe. Hier ist zugleich statistisch damit zu rechnen, daß die Fehlerbreite ansteigt, je niedriger der Quotient ist, d.h. je mehr er sich dem Normalbereich nähert.

Als Konsequenz ergeben sich folgende Kriterien für die Bewertung der Meßergebnisse:

1. Die durch vergleichende Impulsratenmessungen ermittelten Quotienten stellen ein Maß für die Verteilungsstörung des Radionuklids im Hüftkopf dar, gleichbedeutend mit der arteriellen Durchblutungssituation zum Zeitpunkt der Punktatentnahme. Über dem ermittelten Normalbereich liegende Quotienten sprechen für eine arterielle Durchblutungsstörung des Hüftkopfes. Innerhalb des Normalbereiches dokumentieren die Quotienten jedoch nicht unbedingt eine erhaltene Durchblutung. Denn es besteht die Möglichkeit einer fehlerhaften Aktivitätserhöhung im Kopfpunktat, die zu einer relativen Erniedrigung der Quotienten, u. U. bis in den Normalbereich, führen kann.
2. Eine Konkordanz der Quotienten mit den Endergebnissen ist nicht unbedingt zu erwarten. Abgesehen von Fehlermöglichkeiten der Entnahmetechnik sind die Einflüsse der beschriebenen, sich unterschiedlich auswirkenden Faktoren zu berücksichtigen, die zu einer absoluten Voraussage des Heilungsverlaufes nicht berechtigen. Zudem werden die Folgen von Vitalitätsstörungen unterschiedlich beurteilt. Neben Untersuchungen, die eine ausreichende Revitalisierung und Reparation für möglich halten (34), stehen gegenteilige Ergebnisse und Überzeu-

gungen (HIPPE 1971, TRUETA 1968).

3. Für die letztgenannten Autoren bleibt das Primat der Gefäßschädigung bestehen, dessen Ausmaß den Grad des irreparablen Nekroseschadens bestimmt. Im Hinblick hierauf ließ sich auch in der vorliegenden Arbeit bei allen Untersuchungen die Tendenz erkennen, daß bei Erhöhung der Quotienten die Nekroserate der Endergebnisse ansteigt.
4. Ob jedoch erhöhte Quotienten dem Chirurgen als Indikation zum alloplastischen Koppersatz dienen können, ist umstritten. Die Irrtumswahrscheinlichkeit der Untersuchungen dieser Arbeit beträgt etwa 11 %, fast das gleiche Ergebnis teilte FORGON (1968) mit. Die Methode befindet sich also an der unteren Fehlergrenze aller bisher angewandter Methoden, die BÖHLER (1968) mit 10 bis 20 % angibt und daraus die Konsequenz zieht, daß klinische Gesichtspunkte bei chirurgischer Indikation in den Vordergrund zu stellen sind. Der Hüftkoppersatz aufgrund von Meßergebnissen setzt eine sichere Prognosemöglichkeit voraus. Diese Voraussetzung kann nach meiner Ansicht aber von einer Methode, die über die Durchblutungssituation zum Operationszeitpunkt orientiert, nicht erfüllt werden.
5. Ich möchte mich jedoch der Meinung von RIESS (1968) anschließen, daß die Methode von FORGON eine wichtige, zusätzliche Information darstellt: Im Hinblick auf die Endergebnisse können die Quotienten richtungsweisend für die Therapie des postoperativen Heilungsverlaufes sein. Hierzu gehören vor allem kurzfristige Röntgenkontrollen. Denn die Früherfassung von Umbauvorgängen im Hüftkopf ist für die Beurteilung der Belastbarkeit der Patienten notwendig. Späteinbrüche mit konsekutiven erneuten Nekrosen (78, 69, 43, 97) können dann vermieden werden.

Zusammenfassung

In Anlehnung an ein Verfahren von FORGON u. Mitarb. wurde eine Methode zur direkten, intraoperativen Bestimmung der Hüftkopfdurchblutung mittels J-131-Serumalbumin im klinischen Routinebetrieb erprobt.

Es ergab sich einerseits, daß die Methode als Zusatzuntersuchung sowohl in zeitlicher, wie in formaler Hinsicht besonders geeignet ist, da sie sich lückenlos in die Operation einfügen läßt und ihre Durchführung einfach ist. Andererseits ergaben histologische und röntgenologische Kontrollen, daß die Fehlerquote in Bezug auf die Endergebnisse der Heilungsverläufe rund 10 % beträgt. Diese Quote liegt im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Vitalitätsprüfungen relativ günstig im unteren Fehlerbereich.

Möglichkeit und Grenzen des prognostischen Aussagewertes von Vitalitätsprüfungen wurden diskutiert. Es wurde begründet, warum die Aussage im Sinne einer Bestimmung der prospektiven Regenerationspotenz ENDERS beschränkt sein muß. Daraus ergibt sich, daß die Meßergebnisse zur Indikation des primären alloplastischen Hüftkopfersatzes nicht allein maßgebend sein dürfen, sondern vor allem eine wichtige Information und Richtlinie für die Therapie des Heilungsverlaufes darstellen.

Literaturverzeichnis

- 1) AMANN, E., F. KAUFMANN: Zur Vitalitätsprüfung der Hüftköpfe nach Schenkelhalsbrüchen.
Chirurg 39 (1968) 65
- 2) AMANN, E.: Podiumsdiskussion.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 41
- 3) ANDRASINA, J., J. BAUER, M. KOVAC u. J. VAJO: Podiumsdiskussion, Hefte Unfallheilk 97 (1968) 31
- 4) ARDEN, G. P.: Radioactive isotopes in fractures of the neck of the femur., J. Bone Jt. Surg. 42 B (1960) 21
- 5) ARDEN, G. P., N. VEALL: The use of radioactive substances in early detection of avascular necrosis in the femoral head in fractured neck of the femur.
Proc. roy. Soc. Med. 46 (1953) 344
- 6) AXHAUSEN, W.: Die Nekrose des proximalen Bruchstückes beim Schenkelhalsbruch. Arch. klin. Chir.
120 (1922) 325
- 7) BASSETT, F. H., J. W. WILSON, ALLEN, B.L. und H. AZUMA: Normal Vascular Anatomy of the Head of the Femur in Puppies with Emphasis on the Inferior Retinaculum Vessels.
J. Bone Jt. Surg., 51 A (1969) 1139
- 8) BERNBECK, R., Zur Pathogenese der jugendlichen Hüftkopfnekrose.
Arch. Orthop., 44 (1950) 164
- 9) BESSLER, W., M. MÜLLER: Autoradiographische Studien bei Femurkopfnekrose.
Arch. Orthop. Unfall-Chir. 53 (1961) 320
- 10) BESSLER, W.: Röntgenologische, autoradiographische und szintigraphische Befunde bei Femurkopfnekrose.
Fortschr. Röntgenstr. 110 (1969) 214
- 11) BÖHLER, L., J. ENDER: Hüftkopfnekrosen nach Schenkelhalsnagelung, ihre Häufigkeit und Versuche der Verhütung. Wiederherstellungschir. u. Traum.,
1 (1953) 122

- 12) BÖHLER, J.: Experimentelle Untersuchungen über die Ursache der sogen. Kopfnekrose nach Verrenkung und Verrenkungsbrüchen des Hüftgelenks.
Chirurg. 24 (1953) 344
- 13) BÖHLER, J.: Klin. Untersuchung der Kopfdurchblutung.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 31 - 46
- 14) BONN, R.: Zur operativen Behandlung der subcapitalen Schenkelhalsfrakturen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 120 (1922) 298
- 15) BOYD, H. B.: Use of Geiger counter in estimating the blood supply in the femoral head.
J. Bone Jt. Surg. 33 B (1951) 475
- 16) BOYD, H. B., D. B. ZILVERSMIT, R. A. CALANDRUCCIO:
The use of radio-active phosphorus (32 P) to determine the viability of the head of the femur.
J. Bone Jt. Surg. 37 A (1955), 260
- 17) BOYD, H. B., R. A. CALANDRUCCIO: Further observations on the use of radioactive phosphorus (32 P) to determine the viability of the head of the femur.
J. Bone Jt. Surg. 45 A (1963) 445
- 18) BRODETTI, A.: The blood supply of the femoral neck and head in relation to the damaging effects of nails and screws. J. Bone Jt. Surg. 42 B (1960) 794.
- 19) BRÜCKE, P., F. KAUFMANN und H. VAGACS: Eine neue Methode zur intraoperativen Vitalitätsbestimmung des Schenkelkopfes bei der medialen Schenkelhalsfraktur. Arch. orthop. Unfall-Chir 57 (1965) 354
- 20) BRÜCKE, P.: Podiumsdiskussion.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 43
- 21) BRUGGER, G.: Zur Frage des prognostischen Wertes angiographischer Untersuchungen bei medialen Schenkelhalsfrakturen.
Mschr. Unfallheilk. 66 (1963) 337
- 22) BUCHHOLZ, H. W.: Kongreßbericht der Mittelrheinischen Chirurgenvereinigung
Medical Tribune B 9 (1972) 14

- 23) CATTO, M.: A histological study of avascular nekrosis of the femoral head after transcervical fraktur.
J. Bone Jt. Surg. 47 B (1965) 749
- 24) CHANDLER, S. B., P. H. KREUSCHER: A study of the blood supply of the ligamentum teres and its relation to the circulation to the head of the femur.
J. Bone Jt. Surg. 14 (1932) 834
- 25) CLAFFEY, D. J.: Avascular necrosis of the femoral head.
J. Bone Jt. Surg. 42 B (1960) 4
- 26) COOPER, A.: A treatise on dislocations and fractures on the joints.
Longmann and Hurst, London 1822.
Zit. n. Lange u. Hipp 1960
- 27) DAHLGREN, S.: Venography in fractures of the femoral neck.
Acta chir. scand. 117 (1959) 494
- 28) DUBOIS, M.: Die Hüftkopfnekrose nach der Schenkelhalsnagelung, ihre Häufigkeit und Versuche zur Verhütung.
Wiederherstellungschir. u. Traum. 1 (1953) 96
- 29) DUFOUR, J. J.: Etat pré-fracturel du col du femur.
Helv. chir. Acta 19 (1952) 15
- 30) EBERLE, H.: Frakturheilung bei Schenkelhalsfrakturen und intravasärer Femurkopfvenogr.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 308 (1964) 682
- 31) EBERLE, H.: Zur Frühdiagnose der Femurkopfnekrose.
Helv. chir. Acta 31 (1964) 119
- 32) EBERLE, H.: Traumatische Hüftgelenksluxation und Femurkopfnekrose.
Schweiz. med. Wschr. 95 (1965) 326
- 33) EBERLE, H.: Die intraossäre Femurkopfvenographie bei Schenkelhalsfrakturen und Hüftgelenksluxationen.
Radiol. clin. biol. 36 (1967) 277
- 34) EBERLE, H.: Intraossäre Femurkopfvenographie
Ergeb. med. Radiologie I (1968) 1
- 35) ENDER, J.: Der frische Schenkelhalsbruch
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 3

- 36) ESCHBERGER, J.: Die Histologie der Schenkelhalsbrüche.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 15
- 37) FASSBENDER, C. W., E. HIPPE und E.A. HÜHN:
Klinische Gesichtspunkte zur Bedeutung und zur
Technik nuklearmedizinischer Methoden bei
Hüftkopfnnekrosen
Z. Orthop. 107 (1969) 75
- 38) FELSENREICH, F.: Histologische Untersuchungen an operier-
ten Schenkelhalsbrüchen.
I - VIII. Mitteilung, Arch. klin. Chir. 192,
194, 195, 198 (1938-40)
- 39) FORGON, M., J. SZATEI und L. MILTENYI: Ein Verfahren
zur Messung des Blutumlaufes im Caput femoris
nach Schenkelhalsbrüchen mit durch J-131 mar-
kiertem Human-Serumalbumin.
Chirurg 37, (1966) 301
- 40) FORGON, M.: Podiumsdiskussion.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 42
- 41) FRANGENHEIM, P.: Studien über die Schenkelhalsfrakturen
und die Vorgänge bei ihrer Heilung.
Dtsch. Z. Chir. 83, 401 (1906). Zit. n.
Herzog, 1962
- 42) FROMMHOLD, W.: Zur Frage der Spätschäden bei Schenkel-
halsfrakturen.
Mschr. Unfallheilk. 55 (1952) 206
- 43) GRAF, R.: Häufigkeit und Entwicklung von traumatisch beding-
ten Schenkelhalsnekrosen.
Zbl. Chir. 84 (1959) 550
- 44) GRAF, R.: Pathologische Anatomie des Schenkelhalsbrüches
und seiner Komplikationen.
Hefte Unfallheilk. 78 (1964) 116
- 45) GRAF, R. und H. WERNER: Die Phlebogr. des Schenkelhals-
kopfes bei der frischen medialen Schenkelhals-
fraktur.
Fortschr. Röntgenstr. 92 (1960) 331
- 46) HERZOG, W.: Zur transossalen Veographie des Hüftgelenks.
Medizinische (1959) 378

- 47) HERZOG, W.: Zur Problematik der medialen Schenkelhalsfraktur.
Langenbecks Arch. klin. Chir 299 (1962) 200
- 48) HERZOG, W.: Der Wert der transossalen Veographie bei der Schenkelhalsfraktur.
Chir. Praxis 7 (1963) 369
- 49) HIPP, E.: Zur Angiographie der Hüftgefäße.
Verh. dtsch. orthop. Ges. 46 (1958) 581
- 50) HIPP, E.: Die Gefäße des Hüftkopfes. Anatomie, Angiographie und Klinik.
Beilage Z. Orthop. 69 (1962)
- 51) HIPP, E.: Indikation und Wert angiographischer Untersuchungen bei Erkrankungen des Skeletts.
in: Angiologie und Szintigraphie bei Knochen- und Gelenkerkrankungen. Thieme (Stuttgart) 1971, S. 1 - 9
- 52) HIPP, E.: Persönliche Mitteilung
- 53) HOLMQUIST, B., P.A. ALFFRAM: Prediction of avascular necrosis following cervical fracture of the femur based on clearance of radioactive iodine from the head of the femur.
Acta orthop. scand. 36 (1965) 62
- 54) HULTH, A.: Interosseous venographies of medial fractures of femoral neck. Residual vascularity of head fragment in different types of fractures; relation to prognosis.
Acta chir. scand. suppl. 214 (1956)
- 55) HULTH, A.: Femoral - head phlebographie. A method of predicting viability.
J. Bone Jt. Surg. 40 A (1958) 844
- 56) HULTH, A.: Necrosis of the head of the femur.
Acta chir. scand. 122 (1961) 122
- 57) HULTH, A.: Prediction of the viability of the femoral head in femoral neck fractures.
Acta chir. scand. 129 (1965) 72
- 58) HULTH, A.: Prognostische Untersuchungen zur Lebensfähigkeit des Schenkelkopfes nach Schenkelhalsfrakturen
Aktuelle Chirurgie 6 (1967)

- 59) HYRTL, J.: Beiträge zur angewandten Anatomie des Hüftgelenkes.
Wien 1856, zit. nach Frommhold 1952 und Ender
1968
- 60) JANTZEN, P. M.: Traumatische Hüftnekrosen.
Arch. orthop. Unfall-Chir. 51 (1959) 44
- 61) JANTZEN, P. M. und U. SCHUSTER: Hüftnekrosen nach lateralen Schenkelhalsfrakturen.
Z. Orthop. 92 (1959) 50
- 62) JOHANSSON, S. H.: Prognostic assessment in fractured neck of femur, using 131 J and venography.
Acta chir. scand. 123 (1962) 298
- 63) KOLODNY, A.: The architecture and the blood supply of the head and neck of the femur and their importance in the pathology of fractures of the neck.
J. Bone Jt. Surg. 7 (1925) 575 - 597
- 64) LAING, P. G., A. FERGUSON: Radiosodium clearance rates as indicators of femoral - head vascularity.
J. Bone Jt. Surg. 41 A (1959) 1409
- 65) LANGE, M.: Die Hüftkopfnekrose nach Schenkelhalsfraktur, ihre Entstehung und Behandlung.
Münch. med. Wschr. 93 (1951) 1926
- 66) LANGE, M., E. HIPPE: Gefäßveränderungen bei posttraumatischen Hüftkopfnekrosen.
Z. Orthop. 92 (1960) 513
- 67) LANGER, K.: Über das Gefäßsystem der Röhrenknochen.
Denkschr. Kaiserl. Akad. Wiss., Wien 36 (1876),
1. zit. nach Trueta 1968
- 68) v. LANZ, T., W. WACHSMUTH: Praktische Anatomie, Bd. I/4.
Springer, Berlin 1938
- 69) MAATZ, R.: Zur Frage der Kopfnekrosen nach medialer Schenkelhalsfraktur.
Zbl. Chir. 77 (1952) 1717
- 70) MAATZ, R., H. LEMPERT: Zur Kopfnekrose nach medialer Schenkelhalsfraktur.
Chirurg 23, (1952) 304
- 71) MAATZ, R.: Die Erneuerung des Hüftkopfes nach subcapitaler Schenkelhalsfraktur.
Dtsch. med. J. 10 (1959) 104

- 72) MASSIE, W. K.: Repetitive circulatory studies of the femoral head with P 32 after fracture.
Neuvième Congrès de la Sicot, Vienna.
1. - 7. Sept (1963) 52
- 73) MAURER, H. J., E. HOFFMANN, W. HUPFAUER und H. SCHNABELMAIER: Arteriographische Untersuchungen bei Schenkelhalsfrakturen.
Fortschr. Röntgenstr. 110, (1969) 703
- 74) MEYERS, M. H.: Kongreßbericht vom 39. Annual Meeting of the American Academy of Orthopaedic Surgeons
Medical Tribune 9 B (1972) 3
- 75) MILES, J. S.: The use of intramedullary pressure in the early determination of aseptic necrosis in the femoral head.
J. Bone Jt. Surg. 37 A (1955) 622
- 76) MÜSSBICHLER, H.: Arterial supply to the head of the femur.
Acta radiol. (Stockholm) 46 (1956) 533
- 77) NUSSBAUM, A.: Die arteriellen Gefäße der Epiphysen des Oberschenkels und ihre Beziehungen zu normalen und pathologischen Vorgängen.
Bruns' Beitr. klin. Chir. 130 (1924) 495
- 78) PAUWELS, F.: Der Schenkelhalsbruch.
Enke Stuttgart 1935
- 79) PAUWELS, F.: Grundsätzliches über Indikation und Technik der "Umlagerung" bei Schenkelhalspseudarthrosen.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 262 (1949) 404
- 80) PALETTA : Evolution of circulation in developing femoral head and neck, anatomic study.
Meckels Arch. (Dtsch. Arch. Physiol.);
zit. nach Wolcott, W.E.: Surg. Gynec. Obst.
77 (1943) 61
- 81) PHEMISTER, D. B.: Repair of bone in the presence of aseptic necrosis.
J. Bone Jt. Surg. 12 (1930) 769
- 82) PHEMISTER, D. B.: Fractures of head of femur, dislocation of hip and obscure vascular disturbances producing aseptic necrosis of head of femur.
Surg. Gynec. Obstet. 59 (1934) 415

- 83) PHEMISTER, D. B.: The pathology of ununited fractures of the neck of the femur with special reference to the head.
J. Bone Jt. Surg. 21 (1939) 681
- 84) PRICE, E. R.: The viability of the femoral head after fracture of the neck of the femur.
J. Bone Jt. Surg. 44 B (1962) 854
- 85) PROBST, J.: Probleme der Behandlung des medialen Schenkelhalsbruchs.
Hefte Unfallheilk. 78 (1963) 104
- 86) RIESS, J.: Podiumsdiskussion.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 35
- 87) RÖSINGH, G. E. und J. JAMES: Kongreßbeitrag.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 16
- 88) ROOK, F. W.: "Arteriography of the hipjoint" for predicting endresults in intracapsular and intratrochanteric fractures of the femur.
Americ. J. Surg. 86 (1953) 404
- 89) SALTER und SOTO-HALL: Gelenkerhaltende Operationen bei Oberschenkelkopfnekrose.
Vortrag bei Ges. d. Ärzte, Wien 1966. Zit. bei Amann-Kaufmann 1968.
- 90) SCHINK, W., R. PARKHOFER: Histologische Untersuchungen über die Größe der Arterien im Lig. capitis femoris.
Langenbecks Arch. klin. Chir. 300 (1962) 306
- 91) SCHLUNGBAUM, W.: Die beidseitige "idiopathische" Hüftkopfnekrose des Erwachsenen.
Fortschr. Röntgenstr. 106 (1967) 448
- 92) SCHMORL, G.: Die pathologische Anatomie der Schenkelhalsfrakturen.
Münch. med. Wschr. 71 (1924 a) 1381
- 93) SCHMORL, G.: Anaemische Nekrosen im Schenkelkopf.
Zbl. allg. Path. Anat. 25 (1924 b) 261
- 94) SPIER, H.W., P. SCHABERT: Ein Radiojodtest zur Untersuchung des Hüftkopfes.
Mschr. Unfallheilk. 71 (1968) 138

- 95) TRUETA, J., M.H.M. HARRISON: The normal vascular anatomy of the femoral head in adult man.
J. Bone Jt. Surg. 35 B (1953) 442
- 96) TRUETA, J.: The normal vascular anatomy of the human femoral head during growth.
J. Bone Jt. Surg. 39 B (1957) 358
- 97) TRUETA, J.: Die Anatomie der Gefäße des Oberschenkelkopfes und ihre Empfindlichkeit gegenüber traumatischer Schädigung.
Hefte Unfallheilk. 97 (1968) 18
- 98) TUCKER, F. R.: Arterial supply of femoral head and its importances clinicales.
J. Bone Jt. Surg. 31 B (1949) 82
- 99) TUCKER, F. R.: The use of radioactive phosphorus in the diagnosis of avascular necrosis of the femoral head.
J. Bone Jt. Surg. 32 B (1950) 100
- 100) WATSON - JONES, R.: Fractures and joints injuries.
Livingstone, Edingburgh 1955
- 101) WINTER, W.: Der Substitutionsvorgang am Femurkopf nach medialer Schenkelhalsfraktur.
Inaugur.-Diss., Kiel 1956
- 102) WOODHOUSE, C. F.: An instrument for the measurement of oxygen tension in bone.
J. Bone Jt. Surg. 43 A (1961) 819

Lebenslauf

Am 10. Juni 1937 wurde ich als Sohn des Kaufmanns Karl Rieche und der Ärztin Dr. Annemarie Mann - Rieche, geb. Rother in Berlin geboren.

Nach Abschluß meiner Schulbildung im altsprachlichen Zweig des Humanistischen Kant-Gymnasiums in Berlin-Spandau studierte ich an der Freien Universität Berlin Humanmedizin. Mit dem Staatsexamensabschluß 1964 wurde ich Medizinalassistent, arbeitete 1967 als Assistent in der chirurgischen Klinik Berlin - Hohengatow und wurde im Oktober 1967 Assistent des Strahleninstitutes am Städt. Krankenhaus Spandau-Nord.

1972 erlangte ich hier die Facharztanerkennung für das Fach Radiologie. Zur Zeit bin ich in der Medizinischen Klinik und Poliklinik des Klinikum Westend der Freien Universität Berlin tätig.

Mein besonderer Dank gilt meinem Lehrer Herrn Professor Dr. W. Schlungbaum für die Überlassung des interessanten und aktuellen Themas, sowie für seine großzügige Unterstützung bei der Durchführung der Arbeit.

Großen Dank schulde ich auch Herrn Dr. H. J. Baukhage, Chefarzt der Chirurgischen Klinik Spandau-Nord, und seinen Oberärzten für ihre Hilfe und Geduld bei meinen Arbeiten während der Operationen, ferner Herrn Professor Dr. Ruckes, ehem. Prosektor, und Herrn Professor Dr. Lindlar, Prosektor des Pathologischen Institutes im Städt. Krankenhaus Spandau-Nord für die Beurteilung der histologischen Präparate.

Nicht zuletzt danke ich jedoch den Damen der Isotopenabteilung und Herrn Dipl.-Ing. Dr. Krüger für ihre Hilfe, sowie besonders meiner Mutter für ihre unermüdliche, richtungweisende Mitarbeit.

